

**STUDI PENGENDALIAN
FREKUENSI DAN TEGANGAN PADA
PLTA SAGULING MENGGUNAKAN
KONTROL ADAPTIF MRAS**

[TUGAS AKHIR]

Oleh,

MUSTIKA PANCA NUGRAHA
Nrp. 290 220 1531

RSE
629.836
Nug
S-1
1996



**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
1996**

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	15 JAN 1997
Terima Dari	H
No.enda Prp.	6831


**STUDI PENGENDALIAN
FREKUENSI DAN TEGANGAN PADA
PLTA SAGULING MENGGUNAKAN
KONTROL ADAPTIF MRAS**

[TUGAS AKHIR]

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Elektro
Pada
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Mengetahui / Menyetujui

Dosen Pembimbing I



9/10/96.

Ir. TEGUH YUWONO

Dosen Pembimbing II



Ir. IMAM ROBANDI, M.T.

**SURABAYA
Oktober, 1996**



*Studi Pengendalian Frekuensi Dan Tegangan
Pada PLTA Saguling Menggunakan
Kontrol Adaptif MRAS*

Abstrak



ABSTRAK

Pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Saguling apabila terjadi gangguan kecil dapat mengakibatkan kinerja dinamik sistem, yaitu frekuensi dan tegangannya menjadi tidak baik bahkan dapat membawa sistem menjadi tidak stabil. Gangguan dinamik disebabkan oleh perubahan beban yang relatif kecil sehingga timbul ayunan sebelum sistem kembali pada keadaan steady state. Untuk memperbaiki kinerja sistem akibat gangguan tersebut dapat dilakukan suatu kontrol adaptif pada sisi turbin dan eksitasi.

Dalam studi ini digunakan umpan balik Model Reference Adaptive System (MRAS) melalui metode estimasi parameter Extended Least Square (ELS) dan strategi kontrol Minimum Varian Tracking and Regulation. Dengan menggunakan simulasi komputer program PC-MATLAB dapat dilihat bahwa pemberian umpan balik MRAS pada sisi turbin dan sisi eksitasi dapat memperbaiki kinerja dinamik pada sistem PLTA Saguling. Dari hasil ini kehadiran umpan balik tersebut diharapkan dapat memberikan manfaat yang cukup besar.



*Studi Pengendalian Frekuensi Dan Tegangan
Pada PLTA Saguling Menggunakan
Kontrol Adaptif MRAS*

Kata Pengantar

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr.Wb

Puji syukur ke hadirat Allah SWT, serta shalawat dan salam pada Nabi Besar Muhammad SAW, karena hanya berkat rahmat Allah SWT semata penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul :

STUDI PENGENDALIAN FREKUENSI DAN TEGANGAN PADA PLTA SAGULING MENGGUNAKAN KONTROL ADAPTIF MRAS

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana pada bidang studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Dalam menyusun tugas akhir ini penulis telah berusaha sekuat tenaga untuk mendapatkan hasil yang terbaik, namun penulis merasa tugas akhir ini masih jauh dari sempurna. Namun demikian semoga buku tugas akhir ini dapat membawa manfaat bagi pembacanya. Amin.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

Surabaya, Oktober 1996

Penulis



*Studi Pengendalian Frekuensi Dan Tegangan
Pada PLTA Saguling Menggunakan
Kontrol Adaptif MRAS*

*Ucapan
Terima Kasih*

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan selesainya tugas akhir ini, perkenankanlah penulis mengucapkan rasa terima kasih yang tulus kepada :

1. Ir.Teguh Yuwono selaku dosen Pembimbing I yang telah meluangkan waktu memberikan bimbingan dan pengarahan kepada penulis.
2. Ir.Imam Robandi,M.T. selaku dosen pembimbing II yang telah banyak memberikan pengarahan, bimbingan dan koreksi dalam penyusunan tugas akhir ini.
2. Pimpinan PT. PLN (PERSERO) PLTA Saguling beserta staf yang telah banyak membantu memberikan data-data yang dibutuhkan dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Bapak dan Ibuk yang dengan segala doa dan kasih sayangnya memberikan dorongan semangat dan motivasi.
4. Mbak Rien, Mbak Atik, Mas Wied, Mas Gun,dan Dik Yuyun serta dik Eny atas doa dan dorongan semangatnya pada penulis.
5. Arek-arek Power Control Club (Sapto, Rochim, Darmo, Wawan dan Saho').
6. Arek-arek Rodah 13, (Wawan, Indro, Aris, Supri dan Danang)
7. Berbagai pihak yang telah membantu terselesaikannya Tugas Akhir ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan dan bantuan yang telah diberikan kepada penulis. Amin



*Studi Pengendalian Frekuensi Dan Tegangan
Pada PLTA Saguling Menggunakan
Kontrol Adaptif MRAS*

Daftar Isi

DAFTAR ISI

JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABS T R A K	iii
KATA PENGANTAR	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN	x
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1. LATAR BELAKANG MASALAH.	1
1.2. PERUMUSAN MASALAH	2
1.3. PEMBATASAN MASALAH	2
1.4. SISTEMATIKA PEMBAHASAN	3
1.5 TUJUAN DAN RELEVANSI	4
BAB II. MODEL REFERENCE ADAPTIVE SYSTEM	5
2.1. PENDAHULUAN	5
2.2. SISTEM PENGENDALIAN DISKRIT	6
2.3. MODEL SISTEM	7
2.3.1. Struktur Model	9
2.3.2. Model Regresi Linier	11
2.3.3. Model Acuan	12
2.4. IDENTIFIKASI SISTEM	13
2.5. MODEL REFERENCE ADAPTIVE SYSTEM	14
2.6. ESTIMASI PARAMETER	16

2.6. MINIMUM VARIANCE TRACKING AND REGULATION	21
 BAB III. MODEL DINAMIK LINIER PADA SISTEM PLTA SAGULING	24
3.1. PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR	24
3.2. MODEL LINIER PLTA SAGULING	27
3.2.1. Model Turbin dan Sistem Pengendali	28
3.2.2. Model Sistem eksitasi	29
3.2.3. Model Power System Stabiliser	32
3.2.4. Model Mesin Sinkron	34
A. Persamaan Arus	34
B. Persamaan Elektromekanik	37
C. Persamaan Daya Elektrik	39
D. Persamaan Tegangan Terminal	41
E. Persamaan Medan	42
3.3. MODEL LINIER SISTEM KESELURUHAN	45
3.4. PERSAMAAN KEADAAN SISTEM	46
3.4.1. Persaman Matriks Keadaan Sistem	48
 BAB IV. PERANCANGAN DAN ANALISIS SIMULASI	53
4.1. PERANCANGAN MODEL	53
4.2. PERANCANGAN PENGENDALI	54
4.3. ALGORITMA SIMULASI	60
4.4. ANALISIS HASIL SIMULASI	67
4.4.1. Dengan Input Step	67
4.4.2. Dengan Input Step Beramplitudo	68
 BAB V. PENUTUP	75
5.1. KESIMPULAN	75
5.2. SARAN	75

DAFTAR PUSTAKA 77

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

GAMBAR	HALAMAN
2.1. Kurva Respon Step	13
2.2. Blok Diagram MRAS	15
2.3. Tampilan dari Pengendali yang meminimalkan variansi	22
2.4. Struktur Minimum Variance Tracking and Regulation	22
3.1. Konfigurasi PLTA	25
3.2. Blok Diagram Sistem Pembangkit listrik tenaga air dengan peralatan pengendalinya	27
3.3. Generator terhubung ke bus infinit	28
3.4. Diagram blok turbin air dan pengaturannya	28
3.5. Diagram blok sistem eksitasi	30
3.6. Diagram blok PSS PLTA Saguling yang disederhanakan	32
3.7. Mesin tunggal terhubung bus infinit	34
3.8. Diagram arus dan tegangan sistem mesin tunggal	34
3.9. Diagram fasor perubahan sudut rotor	37
3.10. Diagram blok elektromekanik	39
3.11. Diagram blok persamaan daya elektrik	40
3.12. Diagram blok tegangan terminal	42
3.13. Diagram fasor arus dan tegangan mesin sinkron	42
3.14. Diagram blok persamaan medan mesin sinkron	45
3.15. Model mesin tunggal PLTA Saguling	46

4.1. Strategi pengendali Adaptif	57
4.2. Strategi pengendalian Adaptif (untuk $b_0=0$)	59
4.3. Model mesin tunggal dengan gangguan ΔPd	61
4.4. Algoritma Penelitian	64
4.5. Model gangguan	70
4.6. Respon output tegangan dengan input step	71
4.7. Respon output frekuensi dengan input step	72
4.8. Respon output tegangan dengan input step beramplitudo	73
4.9. Respon output tegangan dengan input step beramplitudo	74

DAFTAR TABEL

TABEL	HALAMAN
4.1. Data parameter mesin	66
4.2. Data beban dan saluran	67
4.3. Hasil perhitungan K1 sampai K6	67
4.4. Tanggapan Keluaran Frekuensi dengan input Step beramplitudo	69
4.5. Tanggapan Keluaran Tegangan dengan input Step beramplitudo	69



*Studi Pengendalian Frekuensi Dan Tegangan
Pada PLTA Saguling Menggunakan
Kontrol Adaptif MRAS*

Daftar Lambang Dan Singkatan

DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN

A. Sistem Tenaga Listrik

– Δ	: perubahan
– δ	: sudut fasa (sudut rotor)
– E'_q	: tegangan transien generator sumbu quadrature (pu)
– E_{fd}	: tegangan medan eksitasi (pu)
– E_q	: tegangan generator sumbu quadrature (pu)
– I	: arus (pu)
– I_d	: arus sumbu direct (pu)
– I_q	: arus sumbu quadrature (pu)
– K_A	: penguatan amplifier
– K_E	: penguatan eksiter
– K_F	: penguatan filter
– K_{ga}	: penguatan governor turbin air
– M	: konstanta inersia
– P_1	: tegangan setelah melalui penguat PSS
– P_2	: tegangan setelah melalui blok reset filter PSS
– P_0	: tegangan output PSS
– R	: konstanta pengaturan turbin (rad/N.m.s)
– T'_{do}	: konstanta waktu transien generator (detik)
– T_e	: torsi elektrik (pu)
– T_E	: waktu tanggap eksiter
– T_{ga}	: waktu tanggap pengatur turbin air
– T_m	: torsi mekanik (pu)
– T_w	: konstanta waktu turbin air
– U_1	: sinyal kontrol sisi turbin
– U_2	: sinyal kontrol sisi eksitasi

- V_A : tegangan setelah amplifier
- V_F : tegangan keluaran penyearah
- V_o : tegangan infinite bus
- ω : frekuensi sudut
- ω_o : kecepatan sinkron (rad/detik)
- x'_d : reaktansi transien (pu)
- x'_q : reaktansi transien sumbu quadrature (pu)
- x_d : reaktansi sumbu direct (pu)
- x_q : reaktansi sumbu quadrature (pu)
- Y : level katup

B. Sistem Pengaturan Adaptif MRAS

- A : matriks variabel keadaan
- B : matriks variabel masukan
- E : matriks variabel gangguan
- C : matriks variabel pengukuran
- J : tolok ukur penampilan (kriteria performansi)
- j : simbol bilangan khayal
- T : notasi transpose
- $u(t)$: variabel masukan tunggal
- $e(t)$: vektor variabel gangguan
- $y(t)$: vektor variabel pengukuran
- $A(q^{-1}), B(q^{-1}), C(q^{-1})$: polinomial parameter model ARMAX
- $A_m(q^{-1}), B_m(q^{-1})$: polinomial model acuan
- $y_m(t)$: keluaran model reference
- $y(t)$: keluaran sistem
- $\alpha_p, \alpha_p, \alpha_2$: faktor Pengabai
- a_i : koefisien polinomial $A(q^{-1}), i = 1, \dots, n_a$
- b_i : koefisien polinomial $B(q^{-1}), i = 1, \dots, n_b$
- c_i : koefisien polinomial $C(q^{-1}), i = 1, \dots, n_c$

- d : waktu tunda
- $e(t)$: white noise
- $E\{ \cdot \}$: nilai ekspektasi
- $F(t)$: penguatan adaptasi
- $F(q^{-1})$: hasil pembagian $C(q^{-1})/A(q^{-1})$
- $G(q^{-1})$: sisa hasil pembagian $C(q^{-1})/A(q^{-1})$
- J : fungsi kriteria
- Φ : matriks informasi sistem
- φ : matriks informasi regresi
- q^{-1} : operator geser mundur persamaan beda
- θ : vektor parameter sistem
- $r(t)$: sinyal acuan keluaran
- ρ : konstanta pembobot sinyal kendali
- $u(t)$: sinyal masukan sistem



*Studi Pengendalian Frekuensi Dan Tegangan
Pada PLTA Saguling Menggunakan
Kontrol Adaptif MRAS*

Bab I

Pendahuluan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG MASALAH

Dalam pengoperasian generator di PLTA Saguling diperlukan keandalan yang tinggi dengan kondisi operasi yang stabil. Apabila sistem tenaga listrik tersebut mendapat gangguan berupa perubahan beban yang kecil atau sering disebut gangguan dinamik maka akan berakibat kinerja dinamik sistem (frekuensi dan tegangan) menjadi tidak baik, bahkan dapat membawa sistem ke daerah yang tidak stabil.[16]

Untuk mendapatkan efisiensi energi maupun waktu diperlukan perbaikan pada kinerja dinamikanya. Perbaikan kinerja ini dapat dilakukan melalui kendali pada sisi governor untuk pengaturan kecepatan putar/frekuensi dan kendali pada sisi eksiter untuk pengaturan tegangan.

Usaha-usaha untuk memperbaiki kinerja dinamik akibat perubahan beban yang kecil tersebut dilakukan dengan sistem kontrol adaptif. Dalam tugas akhir ini kontrol adaptif dilakukan melalui sisi governor dan sisi eksiter dengan menggunakan metode MRAS (Model Reference Adaptive System). Penggunaan MRAS ini dimaksudkan untuk memperbaiki kinerja dinamik pada sistem tenaga listrik yang invarian waktu.

1.2. PERUMUSAN MASALAH

Studi kestabilan dinamik dipakai untuk mengetahui respon dinamik dari sistem apabila terjadi gangguan yang relatif kecil. Hal ini dilakukan dengan mempelajari kestabilan tempat kedudukan variabel keadaan sistem pada titik kerja. Sistem yang tertentu pada dasarnya selalu berubah di sekitar keadaan tetapnya. Dengan cara melihat perubahan kecil di sekitar titik kerjanya, persamaan differensial non linier dan persamaan aljabar sistem dapat digantikan dengan persamaan linier.

Dalam studi ini akan dipelajari penerapan kontrol adaptif MRAS dengan membentuk model matematik dari mesin tunggal pada PLTA Saguling. Penerapan kontrol adaptif ini pada dasarnya adalah respon sistem yang diinginkan dibuat dalam bentuk model $M(s)$ dan output dari model ini dibandingkan dengan output sistem. Kemudian selisih output model dengan output sistem digunakan untuk mengatur strategi kontrol.

Dengan simulasi komputer akan dapat diketahui sejauh mana kontrol adaptif MRAS berpengaruh pada kestabilan sistem yaitu dengan cara membandingkan dengan simulasi sistem tanpa menggunakan MRAS.

1.3. PEMBATAAN MASALAH

Model sistem yang dipakai adalah model mesin tunggal yang terhubung dengan bus infinit (tegangan dan frekuensi konstan). Perubahan beban yang kecil

(dinamik) pada sistem tenaga listrik yang invarian waktu. Sistem adalah stabil dengan beban-beban statis.

1.4. SISTEMATIKA PEMBAHASAN

Dalam buku tugas akhir ini disajikan dalam 5 bagian atau bab yaitu :

- Bab I : merupakan bab pendahuluan yang berisi latar belakang pemilihan topik perancangan , perumusan masalah, batasan masalah , sistematika pembahasan serta tujuan dan relevansi dari pembuatan tugas akhir.
- Bab II : dalam bab ini diuraikan teori yang mendasari perancangan, teori pemodelan sistem, teori pengendalian digital, teori pengendalian adaptif yang meliputi struktur pengendali adaptif MRAS, identifikasi parameter, estimasi parameter, model proses dan perancangan aksi kendali.
- Bab III : berisi tentang pemodelan dinamik pada sistem tenaga listrik PLTA Saguling yang meliputi. model turbin air dan governor, model sistem eksitasi, model Power System Stabilizer (PSS), dan model mesin tunggal secara keseluruhan dan pada bagian akhir diturunkan persamaan persamaan keadaan dan persamaan output.
- Bab IV : dalam bab ini berisi perhitungan dan analisis dari perancangan sistem kontrol dengan metode MRAS yang hasilnya disimulasikan dengan komputer dengan melihat perubahan variabel output apabila digunakan pengontrolan pada sisi turbin dan eksitasi dengan keadaan tanpa pengontrolan adaptif MRAS.

□ Bab V : merupakan bab terakhir yang menjadi penutup yang berisi tentang kesimpulan dari hasil pengujian dan analisa yang telah dilakukan dan saran-saran.

1.5. TUJUAN DAN RELEVANSI

Dengan tugas akhir ini dimaksudkan adanya perbaikan kinerja dinamik pada frekuensi dan tegangan dari suatu PLTA dengan menggunakan kontrol adaptif MRAS di sisi turbin dan sisi eksiternya. Juga diharapkan dari tugas akhir ini dapat menjadi pertimbangan bagi perkembangan sistem kelistrikan dimasa yang akan datang.



*Studi Pengendalian Frekuensi Dan Tegangan
Pada PLTA Saguling Menggunakan
Kontrol Adaptif MRAS*

Bab II

Model Reference Adaptif System

BAB II

MODEL REFERENCE ADAPTIVE SYSTEM

2.1.SISTEM PENGENDALI ADAPTIF

Dalam mendesain suatu sistem , banyak teknik perancangan yang bisa diterapkan diantaranya adalah teknik perancangan dengan kontrol adaptif. Hal ini terutama dilakukan untuk mengeliminasi gangguan dari luar (Disturbansi) dan gangguan dari dalam (perubahan parameter sistem atau pada sistem yang bekerja diluar range linier) juga untuk mengatasi keterbatasan perancangan klasik yang umumnya sukar direalisasikan.

Sistem kontrol adaptif adalah sistem non linier yaitu parameter kontroler berubah sepanjang perubahan waktu untuk mencapai suatu nilai tertentu yang sesuai dengan sistem (Plant) sehingga output plant sesuai dengan yang dikehendaki. Kontrol ini menggunakan feed back performasi yaitu output sistem selalu diamati untuk mengatur strategi kontrol yang sesuai (merubah parameter kontrol).

Tahapan yang dilakukan pada sistem pengendalian adaptif terdiri dari :

- a. Identifikasi karakteristik dinamik sistem.
- b. Pengambilan keputusan berdasarkan hasil identifikasi.
- c. Modifikasi dengan memberikan sinyal input berdasarkan keputusan yang diambil.

Beberapa pendekatan yang dapat digunakan dalam sistem pengendalian adaptif ini antara lain :

- a. Gain Scheduling.
- b. Self Tuning Regulator.
- c. Model Reference Adaptive System.

Dari ketiga pendekatan tersebut terdapat kesamaan, yaitu selalu ditandai dengan adanya dua loop, yaitu :

- ☐ loop tertutup (umpan balik)
- ☐ loop adaptif

Dalam tugas akhir ini pendekatan yang dilakukan adalah Model Reference Adaptive System (MRAS).

2.2. SISTEM PENGENDALIAN DISKRIT

Suatu plant pada umumnya adalah suatu sistem yang bekerja dalam kawasan waktu kontinyu. Sementara itu untuk penggunaan pengendalian digital dalam sistem pengendali dibutuhkan analisa dalam kawasan waktu diskrit. Oleh karena itu, untuk menganalisa suatu plant dilakukan dengan mendiskritisasikan terlebih dahulu sistem kontinyu tersebut dengan menggunakan transformasi Z, di mana sampled data akan membentuk sinyal pulsa dengan periode pencacah T .

Dengan demikian sistem waktu diskrit dapat dianggap sebagai sistem dinamik di mana satu atau lebih variabel-variabelnya dapat berubah hanya pada saat pencacahan yang dinyatakan dengan kT atau t_{2k1} , dengan $k = 0, 1, 2, \dots$

Dalam sistem waktu kontinyu, fungsi waktu diskrit diperoleh dengan mencacah sinyal analog dengan elemen pencacah. Pencacah tersebut mengubah sinyal analog menjadi deretan pulsa yang terjadi saat pencacahan $0, T, 2T, \dots$ di mana T adalah periode pencacahan. Hasil dari proses konversi ini menghasilkan sinyal pulsa yang kemudian diproses dalam algoritma sistem pengendalian digital sehingga diperoleh keluaran berupa sinyal pengendali digital.

Untuk mengembalikan sinyal pulsa menjadi sinyal kontinyu dibutuhkan suatu perangkat penahan. Pada peralatan penahan ini dilakukan pembentukan kembali sinyal kontinyu $h(t)$ dari pencacahan waktu diskrit $x(kT)$.

Sinyal $h(t)$ di dalam interval $kT < t < (k+1)T$ dapat didekati dengan polinomial dalam τ sebagai berikut :

$$h(kT + \tau) = a_n \tau^n + a_{n-1} \tau^{n-1} \dots + a_1 \tau + a_0 \quad (2-1)$$

dengan,

$$0 < \tau < T \text{ dan } h(kT) = x(kT) \quad (2-2)$$

bila $n = 0$, maka persamaan (2-1) di atas akan menjadi,

$$h(kT + \tau) = x(kT), \text{ dengan } 0 < \tau < T \text{ dan } k = 0, 1, 2, \dots$$

2.3. MODEL SISTEM

Desain suatu sistem pengendalian dapat dilakukan bila diketahui terlebih dahulu perilaku sistem tersebut. Dengan memperoleh informasi mengenai perilaku sistem akan memudahkan dalam merancang model dari sistem yang akan

dikendalikan. Bila suatu model sistem telah diperoleh maka akan dapat digunakan, dan dianggap dapat mewakili sistem yang sesungguhnya, untuk melakukan desain sistem pengendaliannya.

Secara definisi model dapat berupa sistem yang akan dibentuk yang didalamnya terdapat aspek-aspek sistem dengan informasi yang dapat digunakan, atau dapat berarti pula suatu aturan yang dapat mengestimasi keluaran suatu sistem bila masukan tertentu diberikan kepadanya.

Beberapa model yang dapat mewakili sistem terbagi atas dua bagian yaitu

:
☐ Model fisik

Adalah tiruan dari sistem yang sesungguhnya dengan fungsi dan cara kerja yang sama namun dalam bentuk dan ukuran yang lebih kecil.

☐ Model abstrak

Berupa simbol-simbol yang dengan aturan tertentu dapat berfungsi seperti sistem yang sesungguhnya, misalnya model grafik, model matematik dan model simulasi.

Dari keseluruhan model, maka model matematik mempunyai kelebihan dengan kemampuannya dalam memberikan deskripsi sistem dan akurasi yang paling baik. Hal tersebut disebabkan pada model matematik tidak menimbulkan bermacam-macam penafsiran dan mempunyai alur logika yang jelas, sehingga sering digunakan untuk menganalisa perilaku sistem.

2.3.1 Struktur Model

Sistem kontinyu dapat dinyatakan dengan persamaan differensial sebagai berikut :

$$a_n \frac{d^n y(t)}{(dt)^n} + \dots + a_1 \frac{dy(t)}{dt} + a_0 y(t) = b_m \frac{d^m u(t)}{(dt)^m} + \dots + b_1 \frac{du(t)}{dt} + b_0 u(t) \quad (2-3)$$

atau dalam bentuk kompleks, persamaan persamaan di atas dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Y(z) &= G(s) \cdot U(z), \\ &= \frac{B(s)}{A(s)} \cdot U(z) \end{aligned} \quad (2-4)$$

dengan $G(s)$ mempunyai fungsi alih sebagai berikut :

$$G(s) = \frac{b_0 + b_1 s + \dots + b^m s^m}{a_0 + a_1 s + \dots + a^n s^n} \quad (2-5)$$

Dalam sistem diskrit model masukan dan keluaran dinamakan sebagai fungsi alih pulsa dan dinyatakan dengan persamaan,

$$\begin{aligned} Y(z) &= G(z) U(z) \\ Y(z) &= \frac{B(z)}{A(z)} \cdot U(z) \end{aligned} \quad (2-6)$$

dengan $G(z)$ mempunyai fungsi alih sebagai berikut,

$$G(z) = \frac{b_0 + b_1 z + \dots + b_m z^m}{a_0 + a_1 z + \dots + a_n z^n} \quad (2-7)$$

Dalam banyak persoalan praktis, model diskrit sering dinyatakan juga dengan persamaan,

$$Y(z) = \frac{B(z^{-1})}{A(z^{-1})} U(z) \quad (2-8)$$

dengan $B(z)$ dan $A(z)$ merupakan polinomial dengan bentuk sebagai berikut :

$$\begin{aligned} B(z^{-1}) &= b_0 + b_1 + \dots + b_{nb} z^{-nb} \\ A(z^{-1}) &= a_0 + a_1 + \dots + a_{na} z^{-na} \end{aligned} \quad (2-9)$$

dengan na dan nb merupakan orde dari polinomial dan dengan perlambatan d satu satuan waktu periode sampling dan dapat dituliskan,

$$Y(z) = \frac{z^{-d} B(z^{-1})}{A(z^{-1})} U(z) \quad (2-10)$$

Adanya faktor delay waktu d menunjukkan bahwa pada kenyataannya semua sistem diskrit selalu mempunyai faktor keterlambatan minimum satu satuan periode sampling. Dengan mensubstitusi persamaan (2-9) ke dalam persamaan (2-10) serta mentransformasi z balik hasilnya, maka akan diperoleh sistem diskrit dalam domain waktu sebagai berikut,

$$\begin{aligned} y(t) + a_1 y(t-1) + \dots + a_{na} y(t-na) &= b_0 u(t-d) + b_1 u(t-1-d) + \dots \\ &+ b_{nb} u(t-nb-d) \end{aligned} \quad (2-11)$$

atau dengan menggunakan operator delay waktu yang mempunyai sifat,

$$q^{-d} y(t) = y(t-d), \quad z^{-d} \approx q^{-d}$$

maka persamaan (2.10)) dapat dinyatakan dengan,

$$y(t) = \frac{q^{-d}B(q^{-1})}{A(q^{-1})} u(t) \quad (2-12)$$

Dengan bentuk polinomial

$$\begin{aligned} B(q^{-1}) &= b_0 + b_1 q^{-1} + \dots + b_{nb} q^{-nb} \\ A(q^{-1}) &= 1 + a_1 q^{-1} + \dots + a_{na} q^{-na} \end{aligned} \quad (2-13)$$

2.3.2. Model Regresi Linier

Untuk memudahkan penulisan model sistem, format penulisan struktur model seringkali ditulis dengan,

$$y(t) = \theta^T \varphi(t-1) + e(t) \quad (2.14)$$

yang disebut juga sebagai model regresi linier sistem, dimana $e(t) \sim N[0, \sigma_e]$ yaitu gangguan dianggap mempunyai statistik white noise, distribusi Gause dengan rata-rata nol dan variansi σ_e , θ adalah vektor parameter dan φ adalah vektor informasi (vektor regresi).

Dengan ilustrasi sistem struktur ARMAX (Auto Regresive Moving Average Exogeneus) seperti di bawah ini ,

$$A(q^{-1})y(t) = q^{-d} B(q^{-1}) u(t) + C(q^{-1}) e(t) \quad (2-15)$$

diperoleh vektor parameter sistem

$$\theta = [a_1 \dots a_{na} \quad b_1 \dots b_{nb} \quad c_1 \dots c_{nc}] \quad (2-16)$$

dan vektor informasi sistem

$$\varphi(t) = [-y(t) \dots y(t-na) \quad u(t-d) \dots u(t-nb-d) \quad e(t) \dots e(t-nc)] \quad (2-17)$$

Dari persamaan (2-16) dan (2-17) dapat diketahui bahwa orde sistem dalam model regresi linier adalah jumlahan dari orde polinomial $A(q)$, $B(q)$ dan $C(q)$ yaitu,

$$n = n_a + n_b + n_c.$$

2.3.3. Model Acuan

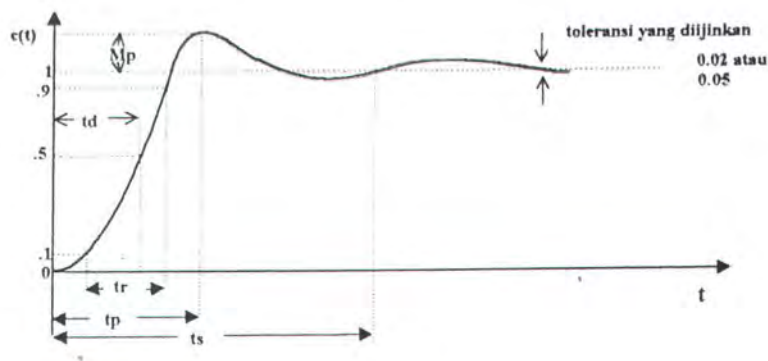
Model acuan yang digunakan sebagai pembanding terhadap model plant merupakan model dengan spesifikasi yang diinginkan oleh sistem dengan karakteristik dinamik yang stabil.

Karakteristik dinamik sistem dapat diketahui dari tanggapan peralihan atau respon dinamikanya. Respon dinamik suatu sistem menunjukkan kemampuan sistem untuk mencapai keadaan steady state dalam rentang waktu tertentu. Sistem yang baik mempunyai waktu peralihan yang relatif pendek. Dari kurva respon transient sistem pengendalian sering menunjukkan osilasi teredam sebelum mencapai kondisi steady state.

Untuk menentukan karakteristik respon transient sistem terkendali terhadap input step perlu dicari spesifikasi sistem yang meliputi :

1. Waktu tunda t_d , adalah waktu yang dibutuhkan respon untuk mencapai setengah harga akhir yang pertama kali.
2. Waktu naik t_r , adalah waktu yang dibutuhkan respon untuk naik dari 10 sampai 90% ,5 sampai 95%, atau 0 sampai 100% dari harga naik.

3. Waktu puncak t_p , adalah waktu yang diperlukan respon untuk mencapai puncak satu lewatan pertama kali.
4. Maksimum overshoot M_p , adalah harga puncak maksimum kurva respon yang diukur dari satu.



Gambar 2.1 Kurva respon step[15]

5. Settling time t_s , adalah waktu yang dibutuhkan respon untuk mencapai dan menetap dalam daerah sekitar harga akhir yang ukurannya ditentukan dengan prosentase mutlak dari harga akhir (biasanya 5% atau 2%)

2.4. IDENTIFIKASI SISTEM

Adanya perubahan parameter yang terjadi dalam sistem akan berpengaruh terhadap karakteristik dinamik sistem tersebut. Oleh karena itu sangatlah penting adanya identifikasi parameter sistem sebagai langkah awal dalam upaya merancang sistem pengendalian .

Identifikasi sistem merupakan proses yang dilakukan untuk membangun suatu model dan melakukan estimasi terhadap parameter-parameter model tersebut

sehingga akan diperoleh model yang terbaik, setelah dilakukan pendekatan berdasarkan data-data eksperimen.

Secara identifikasi sistem dapat dilakukan dengan dua cara yaitu :

1. Identifikasi On-line,
2. Identifikasi Off-line

Identifikasi yang dilakukan harus berlangsung dalam waktu singkat karena ada kecenderungan terjadinya variasi parameter, yang dapat berakibat kurang sempurnanya hasil identifikasi yang dilakukan .

Pada identifikasi off-line masukan yang diberikan pada suatu proses akan memberikan keluaran yang terekam dalam interval waktu tertentu, yang kemudian akan dianalisa secara terpisah. Hal ini kurang menguntungkan karena adanya kecenderungan terjadi perubahan parameter selama proses berlangsung, sehingga identifikasi harus diulang untuk mendapatkan data yang representatif.

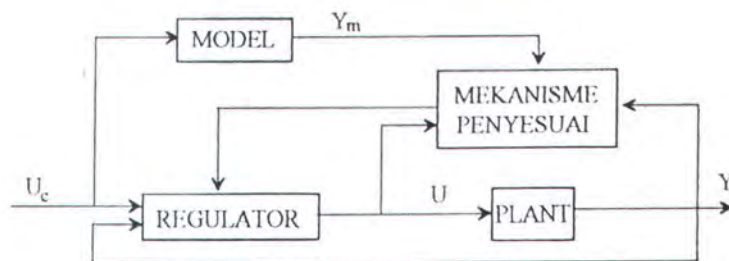
Sementara itu pada identifikasi on-line data diambil secara serentak selama proses berlangsung sehingga begitu estimator menerima data masukan dan keluaran dari proses akan langsung dianalisa dan estimasi yang diberikan dihitung secara rekursif. Dengan cara ini pengendali dapat mendeteksi secara kontinyu untuk penalaan kembali berdasarkan hasil proses yang diinginkan meskipun harga parameter berubah selama proses berlangsung.

2.5. MODEL REFERENCE ADAPTIVE SYSTEM

Model-Reference Adaptive System (MRAS) adalah salah satu pendekatan

utama yang digunakan untuk memecahkan permasalahan-permasalahan kontrol adaptif, dimana spesifikasi yang diinginkan dinyatakan dengan suatu model referensi yang berisikan bagaimana suatu keluaran dari proses .

Prinsip dasar sistem tersebut dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.2. Blok Diagram MRAS

Penampilan yang diinginkan dinyatakan dengan istilah model referensi, dimana model tersebut dapat memberikan respon yang diinginkan sesuai sinyal kontrol yang diberikankan.

Sistem ini juga mempunyai loop umpan balik pada umumnya, dan terdiri dari proses dan regulator. Sinyal error (e) adalah selisih dari output dari sistem dan output dari model referensi. Regulator mempunyai parameter yang berubah berdasarkan perubahan sinyal error yang terjadi antara output plant dengan model referensi, dan menghasilkan hukum kontrol untuk plant yang bersangkutan. Mekanisme penyesuai (adjustment mechanism) merupakan algoritma adaptasi yang akan membuat error menuju nol untuk waktu menuju tak hingga.

2.6. Estimasi Parameter [13]

Karakteristik dinamik suatu sistem ditentukan oleh harga parameternya. Untuk beberapa kasus harga parameter tersebut dapat diperoleh dari hukum-hukum fisika, kimia dan lainnnya. Namun ada kasus yang tidak dapat diselesaikan dengan cara-cara tersebut , sehingga diperlukan suatu metode lain untuk mendapatkan parameter tersebut. Metode ini dilakukan dengan mengamati perilaku sistem pada kondisi eksperimental tertentu yang biasa disebut prosedur estimasi parameter.

Estimasi parameter ini akan digunakan pada mekanisme adaptasi yang merupakan bagian utama dari Model Reference Adaptive System yang menentukan keberhasilan dari perancangan sistem pengendalian. Dengan meminimalkan error yang timbul akibat perubahan parameter, akan dapat memberikan indeks performasi yang dikehendaki.

Metode yang digunakan dalam estimasi ini adalah estimasi Extended Least Square (ELS) untuk model proses deterministik dengan gangguan random.

Dari persamaan model seperti berikut,

$$A(q^{-1}) y(t) = q^{-d} B(q^{-1}) u(t) + C(q^{-1}) e(t) \quad (2-18)$$

dengan,

$y(t)$ = sinyal keluaran

$u(t)$ = sinyal masukan

$e(t)$ = derau putih tidak berkorelasi

d = waktu tunda

q^{-1} = operator geser mundur

Guna identifikasi parameter penulisan struktur model *ARMAX* seringkali dituliskan dalam model regresi linier sebagai berikut:

$$y(t) = \theta^T \varphi(t-1) + e(t) \quad (2-19)$$

Sebagai ilustrasi untuk sistem dengan struktur *ARMAX* diperoleh berturut-turut vektor parameter serta vektor informasi sistem:

$$\theta = [a_1 \dots a_{na} \ b_1 \dots b_{nb} \ c_1 \dots c_{nc}]^T \quad (2-20)$$

$$\varphi(t-1) = [-y(t-1) \dots -y(t-na) \ u(t-1-d) \dots u(t-nb-d) \ e(t-1) \dots e(t-nc)]^T \quad (2-21)$$

Terlihat bahwa orde sistem dalam mode regresi linier adalah jumlah dari orde polinom *A*, *B* dan *C* ($n = n_a + n_b + n_c$).

Estimasi parameter digunakan untuk memperoleh parameter-parameter proses yang tidak diketahui atau yang berubah terhadap waktu.

Variabel keluaran hasil estimasi dinyatakan dalam bentuk berikut:

$$\hat{y}(t) = \hat{\theta}^T \varphi(t-1) \quad (2-22)$$

$\hat{\theta}(t)$ adalah hasil estimasi terbaik dari vektor parameter sistem pada saat t , sehingga kesalahan prediksi adalah:

$$\varepsilon(t) = y(t) - \hat{\theta}^T \varphi(t-1) \quad (2-23)$$

Kriteria estimasi kuadrat terkecil diukur dari fungsi kriteria $J(t)$ yang didefinisikan sebagai jumlah kuadrat dari kesalahan estimasi,

$$J(t) = \sum_{i=1}^N \{e(i)\}^2 \quad (i = 1, 2, 3, \dots, N) \quad (2-24)$$

Selanjutnya dengan N pengukuran, diperoleh harga fungsi kriteria:

$$J(t) = [Y - \Phi \hat{\theta}(t)]^T [Y - \Phi \hat{\theta}(t)] \quad (2-25)$$

dengan Y adalah vektor informasi keluaran sistem,

$$Y = [Y(1) \ Y(2) \ Y(3) \ \dots \ Y(N)] \quad (2-26)$$

sedang Φ adalah matrik informasi sistem,

$$\Phi = [\varphi^T(0) \ \varphi^T(1) \ \varphi^T(2) \ \dots \ \varphi^T(N-1)] \quad (2-27)$$

Sesuai strategi estimasi optimal, parameter sistem terbaik akan diperoleh jika harga fungsi kriteria (2.24) adalah minimum terhadap θ ,

$$\frac{\partial J(t)}{\partial \hat{\theta}(t)} = 0 \quad (2-28)$$

Sehingga diperoleh persamaan normal:

$$(\Phi^T \Phi) \hat{\theta}(t) = \Phi^T Y \quad (2-29)$$

atau diperoleh estimasi parameter sistem:

$$\hat{\theta} = (\Phi^T \Phi)^{-1} \Phi^T Y \quad (2-30)$$

Metode kuadrat terkecil rekursif (*RLS = Rekursif Least Square*) dengan kriteria (2-22) diturunkan dari formula estimasi non rekursif (2-30) diperoleh sebagai berikut:

$$\hat{\theta}(t) = \left[\sum_{i=1}^t \varphi(i-1) \varphi^T(i-1) \right]^{-1} \left\{ \sum_{i=1}^t \varphi(i-1) Y(i) \right\} \quad (2-31)$$

dengan $F(t)$ adalah penguatan adaptasi dan $\varepsilon^o(t)$ kesalahan apriori,

$$F^{-1}(t) = \left[\sum_{i=1}^T \varphi(i-1) \varphi^T(i-1) \right] \quad (2-32)$$

$$F^{-1}(t) = F^{-1}(t-1) + \varphi(t-1) \varphi^T(t-1) \quad (2-33)$$

$$\varepsilon^o(t) = y(t) - \varphi^T(t) \hat{\theta}(t-1) \quad (2-34)$$

diperoleh:

$$\hat{\theta}(t) = \hat{\theta}(t-1) + F(t) \varphi(t-1) \varepsilon^o(t) \quad (2-35)$$

atau:

$$F(t+1) = F(t) - \frac{F(t) \varphi(t) \varphi^T(t) F(t)}{1 + \varphi^T(t) F(t) \varphi(t)} \quad (2-36)$$

$$\hat{\theta}(t+1) = \hat{\theta}(t) + \frac{F(t) \varphi(t) \varepsilon^o(t+1)}{1 + \varphi^T(t) F(t) \varphi(t)} \quad (2-37)$$

Matriks $[\varphi(t) \varphi^T(t)]$ adalah definit positif, sehingga akan diperoleh kondisi infinitesimal $F(\infty) = 0$. Ini memberikan konsekuensi langsung terhadap sifat estimator parameter $\hat{\theta}(t+1)$ tidak lagi konsisten setelah $t > T\infty$. Dengan kata lain bahwa dengan algoritma penguatan adaptasi (2-36) dan algoritma estimator (2-35) setelah $t > T\infty$ tidak mungkin lagi mengikuti perubahan parameter $\theta(t > T\infty)$.

Untuk mengatasi persoalan di atas perlu dilakukan modifikasi terhadap algoritma penguatan adaptasi. Suatu perbaikan dapat dilakukan dengan pemberian *faktor pengabai* (forgetting faktor) α , sehingga penulisan model umum penguatan adaptasi menjadi sebagai berikut:

$$F^{-1}(t) = \alpha_1(t) F^{-1}(t-1) + \alpha_2(t) \varphi(t-1) \varphi^T(t-1) \quad (2-38)$$

dengan,

$$0 < \alpha_1 < 1; 0 < \alpha_2 < 2; F(0) > 0$$

Dengan formulasi (2.38) diperoleh algoritma rekursif penguatan adaptasi sebagai berikut:

$$F(t+1) = \frac{1}{\alpha_1(t)} \left\{ F(t) - \frac{F(t) \varphi(t) \varphi^T(t) F(t)}{\beta(t) + \varphi^T(t) F(t) \varphi(t)} \right\} \quad (2-39)$$

dengan,

$$\beta(t) = \frac{\alpha_1(t)}{\alpha_2(t)}$$

Selanjutnya bergantung pada parameter faktor pengabai $\alpha_1(t)$ dan $\alpha_2(t)$. Untuk tipe variabel faktor pengabai, parameter $\alpha_1(t)$ dan $\alpha_2(t)$ dibuat sebagai berikut

$$\alpha_1(t) = \alpha_0(t) \alpha_1(t-1) + 1 - \alpha_0(t)$$

$$0 < \alpha_0(t) < 1 \text{ dan } \alpha_2(t) = 1$$

Dalam praktek diambil $\alpha_1(0) = 0,95 - 0,99$.

Struktur algoritma penguatan adaptasi dengan demikian menjadi sebagai berikut:

$$F^{-1}(t) = \alpha_1(t) F^{-1}(t-1) + \varphi(t-1) \varphi^T(t-1) \quad (2-40)$$

dengan kriteria ekivalen dari estimator adalah:

$$J(t) = \sum_{i=1}^t \alpha_1^{(t-i)}(i) \left\{ y(i) - \hat{\theta}(t)^T \varphi(i-1) \right\}^2 \quad (2-41)$$

Arti fisis dari algoritma di atas adalah bahwa bobot pada faktor koreksi semakin menurun asimtotik. Algoritma semacam ini dimaksudkan untuk mempercepat terjadinya konvergensi.

Estimasi pada parameter model gangguan sedemikian sehingga diperoleh hasil yang tidak bias, dengan algoritma yang hampir sama dengan estimasi kuadrat terkecil yaitu:

$$\hat{y}(t) = \hat{\theta}^T \varphi_e(t-1) \quad (2-42)$$

$$\hat{\theta} = [a_1 \dots a_{na} \ b_1 \dots b_{nb} \ c_1 \dots c_{nc}]^T \quad (2-43)$$

$$\varphi_e(t-1) = [-y(t-1) \dots -y(t-na) \ u(t-1-d) \dots u(t-nb-d) \ \varepsilon(t-1) \dots \varepsilon(t-nc)]^T \quad (2-44)$$

$$\varepsilon(t) = y(t) - \hat{y}(t) = \theta^T(t) \varphi_e(t) \quad (2-45)$$

Selanjutnya estimator kuadrat terkecil dapat digunakan dengan menggantikan $\varphi(t)$ dengan $\varphi_e(t)$.

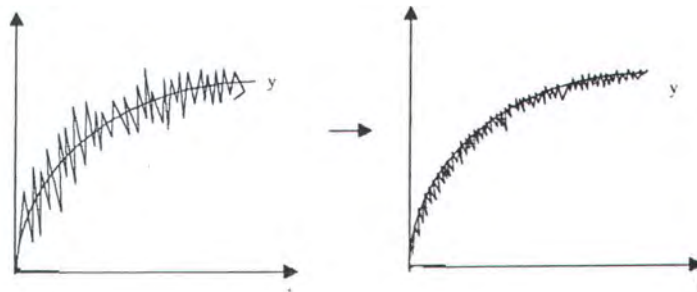
2.7. Minimum Variance Tracking and Regulation[13]

Minimum variance tracking and regulation merupakan strategi pengendalian untuk proses gangguan acak yang diberikan dalam bentuk model :

$$(q^{-1})Y(t) = q^{-d}B(q^{-1})u(t) + C(q^{-1})e(t) \quad (2-46)$$

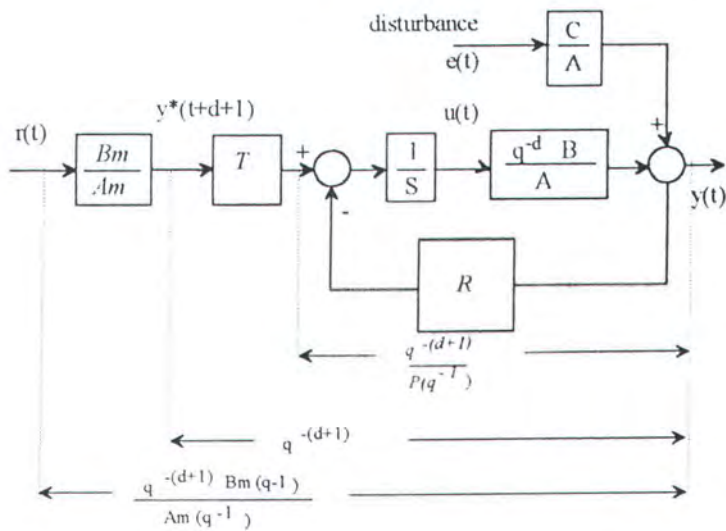
Struktur yang digunakan untuk meminimalkan variansi dari variabel pengendali adalah,

$$E\{[y(t) - y^*(t)]^2\} = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N [y(t) - y^*(t)]^2 \quad (2-47)$$



Minimum Variance Control

Gambar 2.3. Tampilan dari pengendali yang meminimalkan variansi [13]



Gambar 2.4. Struktur Minimum Variance Tracking Regulation [13]

Pada gambar (2.4) mempunyai fungsi transfer closed loop tanpa $T(q^{-1})$:

$$\begin{aligned}
 H_{CL} &= \frac{q^{-(d+1)} B^* (q^{-1})}{A(q^{-1}) S(q^{-1}) + q^{-(d+1)} B^* (q^{-1}) R(q^{-1})} \\
 &= \frac{q^{-(d+1)} B^* (q^{-1})}{B^* (q^{-1}) C(q^{-1})}
 \end{aligned} \tag{2-48}$$

dengan,

$$A(q^{-1}) = 1 + a_1 q^{-1} + a_2 q^{-2} \quad (2-49)$$

$$B(q^{-1}) = q^{-1} B^*(q^{-1}) \quad ; \quad B^*(q^{-1}) = b_1 + b_2 q^{-1} \quad (2-50)$$

$$S(q^{-1}) = B^*(q^{-1}) \quad (2-51)$$

Sementara itu untuk parameter pengendali dengan metode independent tracking and regulation,

$$S = B^* S' \quad (2-52)$$

dengan,

$$S'(q^{-1}) = 1 + s'_1 q^{-1} + \dots + s'_d q^{-d} \quad (2-53)$$

$$R(q^{-1}) = r_0 + r_1 q^{-1} + \dots + r_n q^{-n+1} \quad (2-54)$$

Perhitungan $R(q^{-1})$ dan $S(q^{-1})$ mengikuti persamaan

$$A(q^{-1}) S(q^{-1}) + q^{-(d+1)} B^*(q^{-1}) R(q^{-1}) = B^*(q^{-1}) C(q^{-1}) \quad (2-55)$$

di mana polinomial $P = C$ sehingga $T = C$

Dengan memperhatikan persamaan (2-47) untuk meminimalkan variansi maka persamaan (2-48) menjadi

$$A(q^{-1}) y(t+d+1) = B^*(q^{-1}) u(t) + C(q^{-1}) \varepsilon(t+d+1) \quad (2-56)$$

sehingga persamaan aksi kendalinya,

$$u(t) = \frac{P(q^{-1})y^*(t+d+1) - R(q^{-1})y(t)}{S(q^{-1})} \quad (2-57)$$



*Studi Pengendalian Frekuensi Dan Tegangan
Pada PLTA Saguling Menggunakan
Kontrol Adaptif MRAS*

Bab III

Model Dinamik Linier Pada PLTA Saguling

BAB III

MODEL LINIER PADA

SISTEM PLTA SAGULING

3.1. PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR

Energi listrik berasal dari energi yang berasal dari alam ini melalui proses konversi energi pada pusat pembangkit. Pada Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), menggunakan air sebagai energi primernya. Dibandingkan sumber energi lainnya misalnya batubara, maka energi listrik yang berasal dari air mempunyai beberapa keuntungan antara lain :

1. Air tersedia di alam tanpa harus digali terlebih dahulu seperti beberapa energi lainnya
2. PLTA dapat dengan cepat mengatasi serta mengikuti fluktuasi beban, hal ini dapat terjadi karena proses konversi pada PLTA relatif singkat dan bila dibandingkan dengan pembangkit tenaga listrik lainnya maka proses konversinya termasuk yang tercepat.
3. Dampak sistem pembangkit tenaga air terhadap pencemaran lingkungan hampir tidak ada.

Proses konversi pada PLTA mula-mula menggunakan tenaga potensial air yang selanjutnya diubah menjadi energi mekanik dan dari energi mekanik ini akan dihasilkan energi listrik melalui turbin air dan generator. Sedangkan daya yang dihasilkan secara teoritis oleh adanya debit air yang mengalir pada PLTA ini akan

ke turbin air dengan ketinggian jatuh tertentu dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$P = 9,8 \ H \cdot Q \quad (\text{Kw})$$

dengan :

P : daya keluaran generator (Kw)

H : tinggi jatuh air efektif (m)

Q : debit air yang melalui turbin air (m^3/s)

Bila efisiensi dari turbin air dan generator diperhitungkan maka daya keluaran generator tersebut adalah : [1]

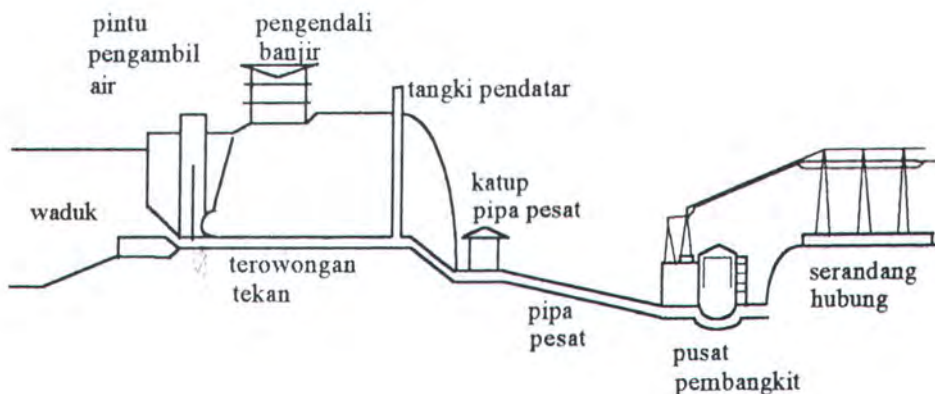
$$P = \eta_t \cdot \eta_g \cdot 9,8 \cdot H \cdot Q \quad (\text{Kw})$$

dengan :

η_t : efisiensi turbin

η_g : efisiensi generator

Dari rumusan di atas terlihat bahwa besar kecilnya daya yang dihasilkan generator tergantung dari debit air dan tinggi jatuh air yang efektif



Gambar 3.1 Konfigurasi PLTA

Pada PLTA Saguling terdapat 4 unit pembangkit yang masing-masing berkapasitas 175,185 MW, sehingga kapasitas total pembangkit adalah 700,74 MW.

Proses pembangkitan tenaga listrik adalah sebagai berikut : air sebagai sumber energi mengalir melalui pipa pesat dan menggerakkan turbin air yang merupakan penggerak mula dari generator. Generator akan mengkonversikan tenaga mekanik menjadi tenaga listrik yang akan disalurkan kepada konsumen sesuai dengan kebutuhan. Sedangkan governor dan peralatan eksitasi merupakan peralatan yang berfungsi sebagai peralatan pengendali. Jika terjadi perubahan kebutuhan daya listrik di sisi beban, maka akan menyebabkan terjadinya perubahan frekuensi maupun tegangan sistem. Hal ini sesuai dengan persamaan berikut :

$$P_m - P_e = M \frac{d\omega}{dt} \quad (3-1)$$

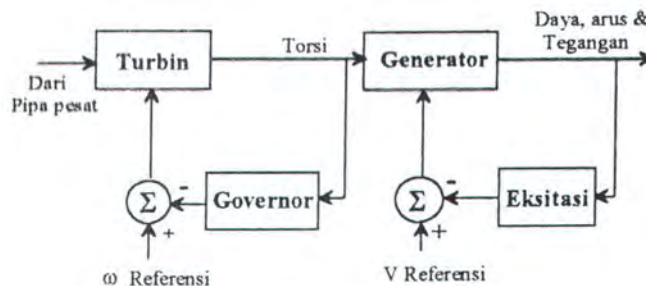
- Bila $P_m > P_e \Rightarrow \frac{d\omega}{dt} > 0$, sehingga ω akan naik dan f juga naik
- Bila $P_m < P_e \Rightarrow \frac{d\omega}{dt} < 0$, sehingga ω akan turun dan f juga turun
- Bila $P_m = P_e \Rightarrow \frac{d\omega}{dt} = 0$, sehingga ω konstan dan f juga konstan

Perubahan ini akan menyebabkan pengendali mengatur kembali besaran-besaran input untuk mencapai titik kesetimbangan baru.

Governor merupakan alat pengendali yang berfungsi untuk menstabilkan torsi mekanik yang merupakan masukan bagi generator. Bila terjadi perubahan putaran, governor akan berfungsi sebagai umpan balik untuk mencapai kesetimbangan baru.

Peralatan eksitasi merupakan pengendali untuk menjaga kestabilan tegangan. Bila terjadi perubahan harga tegangan, maka eksitasi tersebut akan berfungsi sebagai umpan balik untuk mencapai kesetimbangan baru.

Kedua peralatan sistem kontrol tersebut mempunyai perbedaan waktu respon. Governor mempunyai respon yang lambat terhadap perubahan beban, sedangkan sistem eksitasi responnya lebih cepat. Diagram blok dari sistem pembangkit listrik tenaga air beserta sistem kontrolnya adalah sebagai berikut :

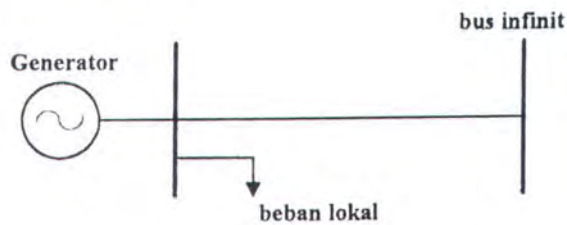


Gambar 3.2 Blok diagram sistem pembangkit listrik tenaga air dengan peralatan kendalinya

3.2. MODEL LINIER SISTEM PLTA SAGULING

Dalam membuat model linear sistem PLTA Saguling ini, sistem diasumsikan sebagai berikut :

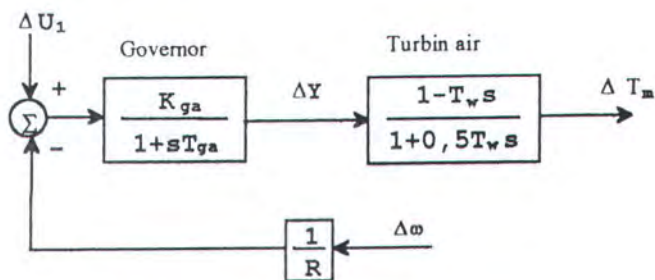
Sistem terdiri dari mesin tunggal yang terhubung pada bus infinit. Tahanan stator diabaikan, kondisi sistem dianggap seimbang dan kejenuhan inti pada generator diabaikan, beban berupa beban lokal yang statis yaitu beban yang berada pada bus pembangkit dengan impedansi yang dianggap tetap.



Gambar 3.3. Generator terhubung ke bus infinit

3.2.1. Model Turbin Dan Sistem Pengendali

Model turbin dan sistem pengendalinya yang dipakai di sini adalah mengacu pada model IEEE³ seperti pada diagram blok di bawah ini :



Gambar 3.4. Diagram blok turbin air dan pengaturannya

Dengan,

ΔY : perubahan tinggi katup

T_w : waktu tanggap turbin air

T_{ga} : waktu tanggap pengatur turbin air

K_{ga} : penguatan pengatur turbin air

R : konstanta pengatur turbin air

ΔU_1 : perubahan sinyal kontrol umpan balik

Dari diagram blok tersebut dapat diperoleh persamaan :

$$\Delta Y = \frac{K_{ga}}{1 + sT_{ga}} \left(\Delta U_1 - \frac{\Delta \omega}{R} \right)$$

$$\Delta Y + T_{ga} \dot{\Delta Y} = K_{ga} \Delta U_1 - \frac{K_{ga}}{R} \Delta \omega$$

$$\dot{\Delta Y} = \frac{K_{ga} \Delta U_1}{T_{ga}} - \frac{K_{ga} \Delta \omega}{T_{ga} R} - \frac{\Delta Y}{T_{ga}} \quad (3-2)$$

$$\Delta T_m = \frac{1 - sT_w}{1 + 0,5sT_w} \Delta Y$$

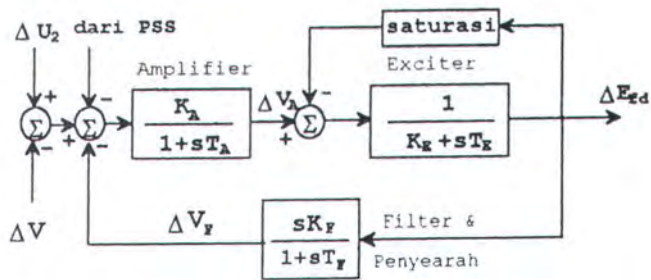
$$\Delta T_m + 0,5T_w \dot{\Delta T_m} = \Delta Y - T_w \dot{\Delta Y}$$

$$\Delta T_m = \frac{\Delta Y}{0,5T_w} - 2\dot{\Delta Y} - \frac{\Delta T_m}{0,5T_w}$$

$$\dot{\Delta T_m} = \frac{2(T_{ga} + T_w)}{T_{ga}T_w} \Delta Y - \frac{2K_{ga}\Delta U_1}{T_{ga}} - \frac{2\Delta T_m}{T_w} + \frac{2K_{ga}\Delta \omega}{T_{ga}R} \quad (3-3)$$

3.2.2. Model Sistem Eksitasi

Pada pembahasan ini, model sistem eksitasi yang dipakai mengacu pada model IEEE tipe 1. Tetapi di PLTA Saguling ini terdapat hal yang khusus, yaitu dipakainya peralatan power system stabilizer. Diagram blok sistem eksitasi tersebut ditunjukkan pada gambar 3.5.



Gambar 3.5. Diagram blok sistem eksitasi

Dengan harga-harga parameter sebagai berikut :

K_A : konstanta penguatan amplifier

K_F : Konstanta penguatan filter

K_E : Konstanta penguatan exciter

T_A : waktu tanggap amplifier

T_E : waktu tanggap exciter

T_F : waktu tanggap filter

ΔU_2 : perubahan sinyal kontrol mesin

Dengan mengabaikan efek saturasi, maka diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$\Delta E_{fd} = \frac{1}{K_E + sT_E} \Delta V_A$$

$$\Delta E_{fd} K_E + \dot{\Delta E}_{fd} T_E = \Delta V_A$$

$$\dot{\Delta E}_{fd} = \frac{\Delta V_A}{T_E} - \frac{K_E \Delta E_{fd}}{T_E} \quad (3-4)$$

$$\Delta V_F = \frac{SK_F}{1 + ST_F} \Delta E_{fd}$$

$$\Delta V_F + \Delta \dot{V}_F T_F = K_F \Delta \dot{E}_{fd}$$

$$\Delta \dot{V}_F = \frac{K_F}{T_F} \Delta \dot{E}_{fd} - \frac{\Delta V_F}{T_F}$$

$$\Delta \dot{V}_F = \frac{K_F \Delta V_A}{T_E T_F} - \frac{K_E K_F \Delta E_{fd}}{T_E T_F} - \frac{\Delta V_F}{T_E} \quad (3-5)$$

$$\Delta V_A = \frac{K_A}{1 + ST_A} (\Delta U_2 - \Delta V - \Delta V_F - \Delta P_0)$$

$$\Delta V_A + \Delta V_A T_A = K_A \Delta U_2 - K_A \Delta V - K_A \Delta V_F - K_A \Delta P_0$$

$$\Delta \dot{V}_A = \frac{\Delta U_2 K_A}{T_A} - \frac{\Delta \delta K_A K_5}{T_A} - \frac{K_A K_6 \Delta E'_q}{T_A} - \frac{\Delta V_F K_A}{T_A} - \frac{\Delta V_A}{T_A} - \frac{K_A}{T_A} \Delta P_0 \quad (3-6)$$

dengan,

ΔV_A : perubahan tegangan amplifier

ΔV_F : perubahan tegangan keluaran penyearah

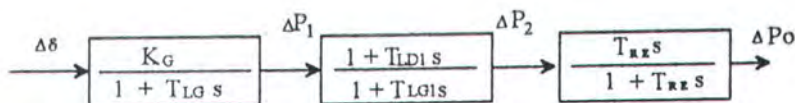
Persamaan-persamaan tersebut diperoleh dengan memperhitungkan keluaran dari PSS, yaitu DP_0 . Dalam kenyataannya kita tidak dapat mengabaikan fungsi alih PSS, karena peralatan PSS ini erat hubungannya dengan sistem eksitasi dalam hal membantu menjaga kestabilan sistem.

3.2.3. Model Power System Stabilizer

PSS (Power System Stabilizer) adalah peralatan yang komponen utamanya terdiri dari :

1. Blok Reset Filter, yang berfungsi untuk mengatur on-offnya PSS yang mengacu pada frekuensi osilasi pada range keadaan slow transien (dinamik). Bila frekuensi berada pada range tersebut PSS akan bekerja dan bila frekuensi berada di luar range itu maka PSS menjadi tidak bekerja.
2. Kompensator, berfungsi memberikan sudut torsi sesuai dengan yang diharapkan.
3. Penguat, berfungsi untuk mengatur penguatan agar diperoleh besaran torsi sesuai dengan yang diinginkan.

Input PSS dapat berupa sinyal frekuensi, kecepatan maupun daya. PSS yang dipakai di PLTA Saguling adalah jenis input daya. Output dari PSS ini ditambahkan ke dalam rangkaian eksitasi. Diagram blok PSS Saguling dapat disederhanakan seperti ditunjukkan dalam gambar 3.6.



Gambar 3.6 Diagram blok PSS PLTA Saguling yang disederhanakan

Dengan,

$$T_{re} : 1(1-20) \text{ dt}$$

$$T_{LG1} : 0,105(0,05-0,5) \text{ dt}$$

$$T_{LG} : 0,28(0,1-1,0) \text{ dt}$$

$$T_{LD1} : 0,2 \text{ dt}$$

$$K_p : 0,02 \text{ V/pu}$$

$$K_{a1} : 250 \text{ v/V}$$

$$K_{a2} : 0,1 \text{ V/v}$$

Dari diagram blok tersebut, dapat diperoleh persamaan berikut :

$$\Delta P_1 = \frac{K_g}{1 + sT_{LG}} \Delta \delta$$

$$\Delta P_1 + T_{LG} \dot{\Delta P}_1 = K_g \Delta P$$

$$\dot{\Delta P}_1 = \frac{K_g}{T_{LG}} \Delta P - \frac{\Delta P_1}{T_{LG}} \quad (3-7)$$

$$\Delta P_2 = \frac{1 + T_{LD1}s}{1 + T_{LG}s} \Delta P_1$$

$$\dot{\Delta P}_2 T_{LG1} = \Delta P_1 - \Delta P_2 - T_{LD1} \dot{\Delta P}_1$$

$$\dot{\Delta P}_2 = \frac{\Delta P_1}{T_{LG1}} - \frac{\Delta P_2}{T_{LG1}} + \left(\frac{K_g}{T_{LG}} \Delta P - \frac{\Delta P_1}{T_{LG}} \right) \frac{T_{LD1}}{T_{LG1}}$$

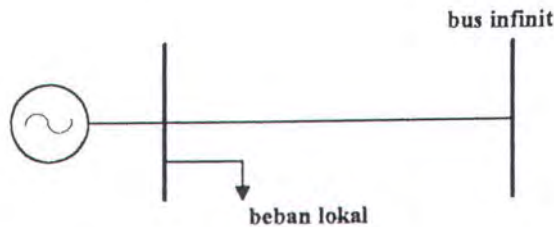
$$\dot{\Delta P}_2 = \frac{T_{LG} - T_{LG1}}{T_{LG} T_{LG1}} \Delta P_1 - \frac{\Delta P_2}{T_{LG1}} + \frac{K_g T_{LD1}}{T_{LG} T_{LG1}} \Delta \delta \quad (3-8)$$

$$\Delta P_o = \frac{s T_{re}}{1 + s T_{re}} \Delta P_2$$

$$\Delta P_o + \dot{\Delta P}_o T_{re} = \dot{\Delta P}_2 T_{re}$$

$$\Delta \dot{P}_o = -\frac{\Delta P_o}{T_{re}} + \frac{T_{LG} - T_{LG1}}{T_{LG} T_{LG1}} \Delta P_1 - \frac{\Delta P_2}{T_{LG1}} + \frac{K_g T_{LD1}}{T_{LG} T_{LG1}} \Delta \delta \quad (3-9)$$

3.2.4. Model Mesin Sinkron

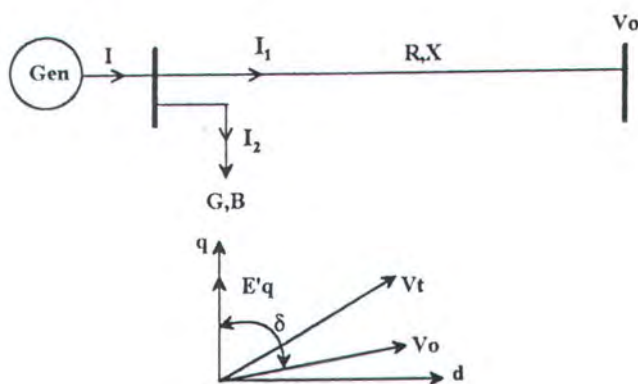


Gambar 3.7. Mesin tunggal terhubung ke bus infinit

Model mesin sinkron ini mengacu pada model mesin tunggal yang terhubung ke bus infinit seperti yang diturunkan oleh De Mello dan Concordia yang merupakan model standard dari IEEE.

Langkah-langkah penurunan persamaan dasar mesin sinkron adalah :

A. Persamaan Arus



Gambar 3.8. Diagram arus dan tegangan sistem mesin tunggal

Dari gambar tersebut terlihat bahwa :

$$I = I_1 + I_2$$

$$I_1 = \frac{(V_t - V_0)}{Z} ; Z = R + jX$$

$$I_2 = YV_t ; Y = G + jB$$

Dari ketiga persamaan tersebut didapat :

$$I = \left(\frac{1}{Z} + YV_t \right) - \left(\frac{1}{Z} V_0 \right) \quad (3-10)$$

$$ZI = (1 + YZ)V_t - V_0 \quad (3-11)$$

dengan,

$$Z = R + jX$$

$$I = I_d + jI_q$$

$$1 + YZ = C_1 + jC_2$$

$$V_t = V_d + jV_q$$

$$V_0 = V_0 (\sin \delta + j \cos \delta)$$

Dengan memasukkan persamaan-persamaan tersebut ke dalam persamaan arus, akan didapat :

$$(R + jX)(I_d + jI_q) = (C_1 + jC_2)(V_d + jV_q) - V_0(\sin \delta + j \cos \delta)$$

Persamaan tersebut mempunyai dua komponen.

Komponen riilnya adalah :

$$RI_d - XI_q = (C_1 V_d) - (C_2 V_q) - (V_0 \sin \delta)$$

dan komponen imajineranya adalah:

$$XI_d + RI_q = (C_2 V_d) + (C_1 V_q) - (V_0 \cos \delta)$$

Dalam bentuk matriks, persamaan tersebut dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} R & -X \\ X & R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_d \\ I_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_1 & -C_2 \\ C_2 & C_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_d \\ V_q \end{bmatrix} - V_0 \begin{bmatrix} \sin \delta \\ \cos \delta \end{bmatrix}$$

dengan,

$$\begin{bmatrix} V_d \\ V_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & X_q \\ -X'_d & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_d \\ I_q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ E'_q \end{bmatrix}$$

Persamaan matriks arus menjadi :

$$\begin{bmatrix} I_d \\ I_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \end{bmatrix} E'_q - \frac{V_0}{W} \begin{bmatrix} R_2 & X_2 \\ -X_1 & R_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sin \delta \\ \cos \delta \end{bmatrix}$$

dengan,

$$R_1 = R - (C_2 X'_d)$$

$$R_2 = R - (C_2 X_q)$$

$$X_1 = X + (C_1 X'_d)$$

$$X_2 = X + (C_1 X_q)$$

$$W = R_1 R_2 + X_1 X_2$$

Persamaan matriks arus setelah disederhanakan dan dilinearisasi adalah :

$$\begin{bmatrix} \Delta I_d \\ \Delta I_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \end{bmatrix} \Delta E'_q + \begin{bmatrix} F_d \\ F_q \end{bmatrix} \Delta \delta \quad (3-12)$$

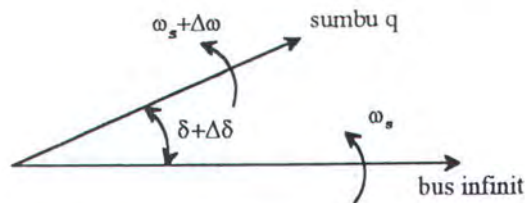
dengan,

$$\begin{bmatrix} F_d \\ F_q \end{bmatrix} = \frac{-V_0}{W} \begin{bmatrix} R_2 & X_2 \\ -X_1 & R_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \delta \\ -\sin \delta \end{bmatrix} \quad (3-13)$$

Persamaan arus (3-12) dan (3-13) diatas sangat dibutuhkan untuk menyelesaikan persamaan-persamaan dasar ke-3, ke-4 dan ke-5 yang akan dibahas pada sub bab berikutnya.

B. Persamaan Elektromekanik

Diagram fasor perubahan sudut rotor dapat dilihat pada gambar 3.8.



Gambar 3.9 Diagram fasor perubahan sudut rotor

Dengan,

$\Delta\delta$: perubahan kedudukan rotor

$\Delta\omega$: perubahan kecepatan rotor

ω_s : kecepatan sinkron

Dari diagram fasor tersebut dapat diturunkan persamaan dasar berikut :

$$\frac{d\Delta\delta}{dt} = \omega_s \Delta\omega \quad (3-14)$$

Persamaan (3-14) tersebut adalah ***persamaan dasar ke-1***.

Persamaan torsi mesin, yaitu torsi mekanis dan torsi elektris dapat diturunkan sebagai berikut :



Gambar 3.10. Masukan dan keluaran generator

Persamaan torsi mekanis dan elektris dapat diturunkan sebagai berikut:

$$T_m - T_e = J \frac{d\omega}{dt} + d\omega,$$

Persamaan torsi dasarnya adalah :

$$T_b = \frac{P_b}{\omega_b} ; \quad \omega_b = \omega_s$$

$$\frac{T_m}{T_b} - \frac{T_e}{T_b} = J \frac{\omega_s}{T_b} \frac{d\omega}{dt} + \frac{d\omega_s}{T_b} \frac{\omega}{\omega_s}$$

$$T_m - T_e = M \frac{d\omega}{dt} + D\omega \quad (3-15)$$

dengan,

$$M = J \frac{d^2\omega}{P_b} ; \quad D = \frac{d^2\omega_s}{P_b}$$

Setelah dilinearisasi, persamaan (3-15) menjadi

$$\Delta T_m - \Delta T_e = M \frac{d\Delta\omega}{dt} + D\Delta\omega$$

(3-16)

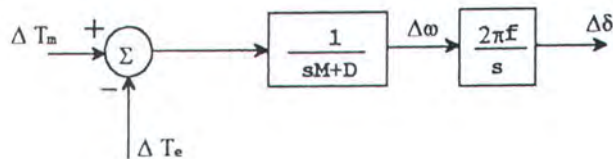
Persamaan (3-16) adalah *persamaan dasar ke-2*.

Dari persamaan (3-14) (persamaan dasar ke-1) dan persamaan (3-16) (persamaan dasar ke-2) kita dapatkan persamaan elektromekanik. Dengan menggunakan transformasi Laplace, diperoleh :

$$\Delta \dot{\delta} = \frac{2\pi f}{s} \Delta \omega$$

$$\Delta T_m - \Delta T_e = (sM + D) \Delta \omega$$

Dari kedua persamaan tersebut, dapat dibuat diagram blok elektromekanik sebagai berikut :



Gambar 3.10. Diagram blok elektromekanik

Dari blok diagram tersebut, didapatkan persamaan berikut :

$$\Delta \dot{\delta} = \omega_0 \Delta \omega \quad (3-17)$$

$$\Delta \dot{\omega} = \frac{1}{M} \Delta T_m - \frac{1}{M} \Delta T_e - \frac{D}{M} \Delta \omega \quad (3-18)$$

C. Persamaan Daya Elektrik

Dalam mesin sinkron, persamaan daya elektrik dapat dituliskan sebagai berikut :

$$T_e = P_e \text{ (dalam pu)}$$

$$\begin{aligned}
P_e &= \text{Re} \{ I I^* \} \\
&= \text{Re} \{ (V_d + jV_q)(I_d - jI_q) \} \\
&= V_d I_d + V_q I_q
\end{aligned}$$

maka,

$$\Delta T_e = \Delta P_e = V_d \Delta I_d + I_d \Delta V_d + V_q \Delta I_q + I_q \Delta V_q$$

sehingga diperoleh :

$$\Delta P_e = (V_d - x'_d I_q) \Delta I_d + (V_q + x_q I_d) \Delta I_q + I_q \Delta E'_q \quad (3-19)$$

Persamaan (3-19) adalah *persamaan dasar ke-3*.

Dengan memasukkan persamaan arus ke dalam persamaan dasar ke-3 diperoleh :

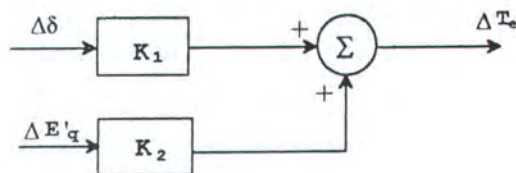
$$\Delta T_e = K_1 \Delta \delta + K_2 \Delta E'_q \quad (3-20)$$

dengan,

$$K_1 = (x_q - x'_d) I_q F_d + [E'_q + (x_q - x'_d) I_d] F_q$$

$$K_2 = [1 + (x_q - x'_d) Y_1] I_q + [E'_q + (x_q - x'_d) I_d] Y_2$$

Dari persamaan (3-20) didapat diagram blok berikut :



Gambar 3.11. Diagram blok persamaan daya elektrik

D. Persamaan Tegangan Terminal

Tegangan terminal pada bus dalam koordinat d-q adalah sebagai berikut :

$$\bar{V}_t = \bar{V}_d + \bar{V}_q$$

$$V_t^2 = V_d^2 + V_q^2$$

Dengan melinierisasi persamaan ini , diperoleh :

$$\Delta V_t = \frac{V_d}{V_t} \Delta V_d + \frac{V_q}{V_t} \Delta V_q$$

$$V_d = x_q I_q \Rightarrow \Delta V_d = x_q \Delta I_q$$

$$V_q = E_q - x_d I_d$$

$$= E'_q - x'_d I_d \Rightarrow \Delta V_q = \Delta E'_q - x'_d \Delta I_d$$

Persamaan tegangan terminal menjadi :

$$V_t \Delta V_t = V_d x_q \Delta I_q + V_q \Delta E'_q - V_q x'_d \Delta I_d \quad (3-21)$$

Persamaan (3-21) ini adalah *persamaan dasar ke-4*.

Dengan memasukkan persamaan arus ke dalam persamaan (3-21) diperoleh :

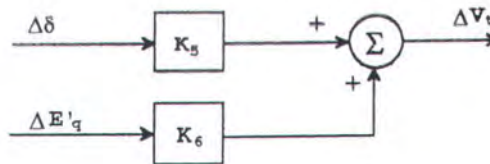
$$\Delta V_t = K_5 \Delta \delta + K_6 \Delta E'_q$$

dengan,

$$K_5 = \frac{(V_d x_q F_q - V_q x'_d F_d)}{V_t}$$

$$K_6 = \frac{V_d x_q Y_2 + V_q (1 - x'_d Y)}{V_t}$$

Sehingga diperoleh diagram blok sebagai berikut :

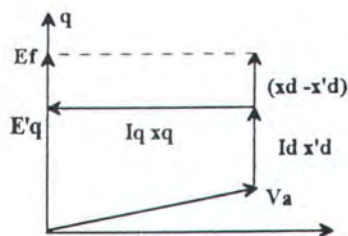


Gambar 3.12 Diagram blok tegangan terminal

E. Persamaan Medan

Dalam mesin sinkron berlaku diagram fasor arus dan tegangan seperti gambar

3.11.



Gambar 3.13 Diagram fasor arus dan tegangan mesin sinkron

Dari diagram fasor tersebut dapat diperoleh persamaan :

$$E_q = E_f - I_d (X_d - X'_d)$$

$$E_f = \omega L_{af} \frac{i_f}{\sqrt{2}} = \lambda_{af} I_f$$

$$X'_d = X_d - \frac{3X_{af}^2}{2X_f}; \quad X_d - X'_d = \frac{3X_{af}^2}{X_f}$$

Dari ketiga persamaan di atas, didapat :

$$E'_q = x_{af} I_f - \frac{3x_{af}^2}{2x_f} I_d$$

$$E'_q = \frac{x_{af}}{x_f} \left(x_f I_f - \frac{3}{2} x_{af} I_d \right)$$

Untuk menyelesaikan persamaan tersebut, harus diketahui persamaan fluksi medan berikut ini :

$$\psi_f = L_{ff} i_f - \frac{3}{2} L_{af} i_f$$

$$\frac{\omega}{\sqrt{2}} \psi_f = x_f I_f - \frac{3}{2} x_{af} I_d$$

Dengan memasukkan persamaan tersebut ke persamaan E_q diperoleh persamaan berikut :

$$E_q = \frac{x_{af}}{x_f} \frac{\omega \psi_f}{\sqrt{2}}$$

Atau persamaan medannya adalah :

$$\psi_f = \frac{\sqrt{2} E_q x_f}{\omega x_{af}}$$

$$V_f = \frac{d\psi_f}{dt} + x_f i_f$$

$$V_f = \frac{\sqrt{2} x_f}{\omega x_{af}} \frac{dE_q}{dt} + x_f i_f$$

maka,

$$\frac{x_{af}}{\sqrt{2} x_f} V_f = \frac{x_f}{\omega x_f} E_q + \frac{x_{af}}{\sqrt{2}} i_f$$

Persamaan ekuivalen dinamik tegangan eksitasi adalah:

$$\frac{x_{af}}{\sqrt{2} x_f} V_f = E_{fd} ,$$

dan persamaan konstanta waktu peralihan medan eksitasi adalah sebagai berikut :

$$\frac{x_f}{\omega x_f} = T_{do}, \text{ dan } \frac{x_{af}}{\sqrt{2}} i_f = E_f$$

Maka diperoleh persamaan medan sebagai berikut :

$$E_{fd} = T_{do} E_q + E_f$$

$$E_{fd} = T_{do} T_q + E_q + (x_d - x'_d) I_d$$

Setelah dilinearisasi didapat :

$$\Delta E_{fd} = T_{do} \Delta E_q + \Delta E_q + (x_d - x'_d) \Delta I_d \quad (3-22)$$

persamaan (3-22) adalah *persamaan dasar ke-5*.

Dengan transformasi Laplace, persamaan (3-22) dapat ditransformasi menjadi:

$$\begin{aligned} \Delta E_{fd} &= T'_{do} s \Delta E'_q + \Delta E'_q + (x_d - x'_d) \Delta I_d \\ &= (1 + s T'_{do}) \Delta E'_q + (x_d - x'_d) \Delta I_d \end{aligned}$$

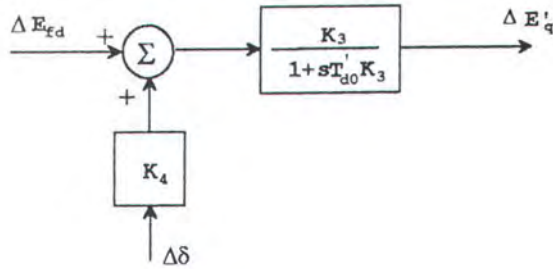
Dengan memasukkan persamaan arus, dan mendefinisikan

$$K_3 \equiv \frac{1}{1 + (x_d - x'_d) Y_1}, \text{ dan } K_4 \equiv (x_d - x'_d) F_d$$

diperoleh persamaan :

$$\Delta E'_q = \frac{K_3}{1 + s T'_{do} K_3} (\Delta E_{fd} - K_4 \Delta \delta) \quad (3-23)$$

Dari persamaan (3-23) diperoleh diagram blok berikut :



Gambar 3.14 Diagram blok persamaan medan mesin sinkron

Dari diagram blok tersebut, dapat diperoleh persamaan berikut :

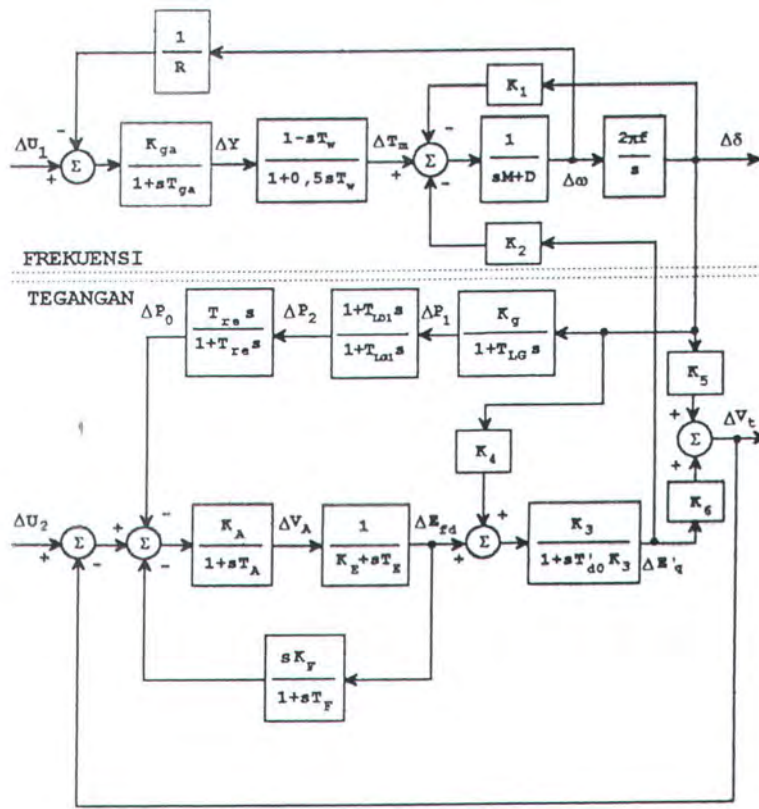
$$\Delta E'_q = \frac{K_3}{T'_{d0}sK_3 + 1} (\Delta E_{fd} + K_4 \Delta \delta)$$

$$\Delta E'_q + \Delta \dot{E}'_q T'_{d0} K_3 = K_3 \Delta E_{fd} + K_3 K_4 \Delta \delta$$

$$\Delta \dot{E}'_q = \frac{1}{T'_{d0}} \Delta E_{fd} + \frac{K_4}{T'_{d0}} \Delta \delta - \frac{\Delta E'_q}{K_3 T'_{d0}} \quad (3-24)$$

3.3. MODEL LINEAR SISTEM KESELURUHAN

Dari blok diagram-blok diagram yang telah didapat dari pembahasan di atas, dapat disusun menjadi blok diagram yang meliputi seluruh sistem PLTA Saguling, seperti yang ditunjukkan gambar 3.15.



Gambar 3.15 Model mesin tunggal PLTA Saguling

3.4. PERSAMAAN KEADAAN SISTEM

Dari gambar 3.15 dapat dibentuk persamaan keadaan sebagai berikut :

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t)$$

$$y(t) = Cx(t)$$

dengan susunan variabel keadaan untuk sistem secara keseluruhan adalah sebagai berikut :

ΔY : perubahan level katup

ΔT_m : perubahan torsi mekanik

$\Delta \omega$: perubahan kecepatan sudut

$\Delta \delta$: perubahan sudut rotor

ΔV_A : perubahan tegangan ke arah eksitasi setelah

dikuatkan

ΔE_{fd} : perubahan tegangan medan

$\Delta E'_q$: perubahan tegangan generator

ΔV_F : perubahan tegangan ke arah eksitasi setelah

difilter

ΔP_1 : perubahan tegangan setelah melalui penguat PSS

ΔP_2 : perubahan tegangan setelah melalui blok reset

filter PSS

ΔP_0 : perubahan tegangan output PSS

Sedangkan variabel masukan terdiri dari dua sinyal masukan yaitu :

ΔU_1 : sinyal masukan yang diumpankan ke sisi turbin

ΔU_2 : sinyal masukan yang diumpankan ke sisi eksitasi

Variabel-variabel keluarannya adalah :

ΔY : perubahan level katup

ΔT_m : perubahan torsi mekanik

$\Delta \omega$: perubahan kecepatan sudut

ΔP_e : perubahan daya listrik

ΔV_A : perubahan tegangan ke arah eksitasi setelah

dikuatkan

ΔE_{fd} : perubahan tegangan medan

ΔV_t : perubahan tegangan terminal

ΔV_F : perubahan tegangan ke arah eksitasi setelah

difilter

ΔP_1 : perubahan tegangan setelah melalui penguat PSS

ΔP_2 : perubahan tegangan setelah melalui blok reset

filter PSS

ΔP_o : perubahan tegangan output PSS

3.4.1. Persamaan Matriks Keadaan Sistem

Dari diagram blok pada gambar 3.15 dan dari pembahasan pada subbab sebelumnya, dapat diperoleh persamaan-persamaan untuk membentuk persamaan matriks keadaan sebagai berikut :

$$\Delta \dot{Y} = \frac{K_{ga}\Delta U_1}{T_{ga}} - \frac{K_{ga}\Delta\omega}{T_{ga}R} - \frac{\Delta Y}{T_{ga}}$$

$$\Delta \dot{T}_m = \frac{2(T_{ga} + T_w)}{T_{ga}T_w}\Delta Y - \frac{2K_{ga}\Delta U_1}{T_{ga}} - \frac{2\Delta T_m}{T_w} + \frac{2K_{ga}\Delta\omega}{T_{ga}R}$$

$$\Delta \dot{\omega} = \frac{1}{M}\Delta T_m - \frac{K_1}{M}\Delta\delta - \frac{K_2}{M}\Delta E'_q - \frac{D}{M}\Delta\omega$$

$$\Delta \dot{\delta} = \omega_0 \Delta\omega$$

$$\Delta \dot{V}_A = \frac{\Delta U_2 K_A}{T_A} - \frac{\Delta\delta K_A K_5}{T_A} - \frac{K_A K_6 \Delta E'_q}{T_A} - \frac{\Delta V_F K_A}{T_A} - \frac{\Delta V_A}{T_A} - \frac{K_A}{T_A} \Delta P_0$$

$$\Delta \dot{E}_{fd} = \frac{\Delta V_A}{T_E} - \frac{K_E \Delta E_{fd}}{T_E}$$

$$\Delta \dot{E}'_q = \frac{1}{T'_{d0}} \Delta E_{fd} + \frac{K_4}{T'_{d0}} \Delta\delta - \frac{\Delta E'_q}{K_3 T'_{d0}}$$

$$\Delta \dot{V}_F = \frac{K_F \Delta V_A}{T_E T_F} - \frac{K_E K_F \Delta E_{fd}}{T_E T_F} - \frac{\Delta V_F}{T_E}$$

$$\Delta \dot{P}_1 = \frac{K_g}{T_{LG}} \Delta P - \frac{\Delta P_1}{T_{LG}}$$

$$\Delta \dot{P}_2 = \frac{T_{LG} - T_{LG1}}{T_{LG} T_{LG1}} \Delta P_1 - \frac{\Delta P_2}{T_{LG1}} + \frac{K_g T_{LD1}}{T_{LG} T_{LG1}} \Delta\delta$$

$$\Delta \dot{P}_0 = -\frac{\Delta P_0}{T_{re}} + \frac{T_{LG} - T_{LG1}}{T_{LG} T_{LG1}} \Delta P_1 - \frac{\Delta P_2}{T_{LG1}} + \frac{K_g T_{LD1}}{T_{LG} T_{LG1}} \Delta\delta$$

Persamaan-persamaan di atas dapat disusun menjadi persamaan matriks keadaan sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \\ . \\ . \\ . \\ \dot{x}_9 \\ \dot{x}_{10} \\ \dot{x}_{11} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta \dot{Y} \\ \Delta \dot{T}_m \\ \Delta \dot{\omega} \\ \Delta \dot{\delta} \\ . \\ . \\ . \\ \Delta \dot{P}_1 \\ \Delta \dot{P}_2 \\ \Delta \dot{P}_o \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & . & . & . & a_{1,10} & a_{1,11} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & . & . & . & a_{2,10} & a_{2,11} \\ . & . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . & . \\ a_{10,1} & a_{10,2} & . & . & . & a_{10,10} & a_{10,11} \\ a_{11,1} & a_{11,2} & . & . & . & a_{11,10} & a_{11,11} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta Y \\ \Delta T_m \\ \Delta \omega \\ \Delta \delta \\ . \\ . \\ . \\ \Delta P_1 \\ \Delta P_2 \\ \Delta P_o \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_{1,1} & b_{1,2} \\ b_{2,1} & b_{2,2} \\ b_{3,1} & b_{3,2} \\ . & . \\ . & . \\ b_{8,1} & b_{8,2} \\ b_{9,1} & b_{9,2} \\ b_{10,1} & b_{10,2} \\ b_{11,1} & b_{11,2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta U_1 \\ \Delta U_2 \end{bmatrix}$$

Dengan harga komponen-komponen matriks A adalah sebagai berikut : (yang tidak tercantum berharga nol)

$$a(1,1) = -\frac{1}{T_{ga}}; a(1,3) = \frac{-K_{ga}}{T_{ga}R}; a(2,1) = \frac{2(T_{ga} + T_w)}{T_{ga}T_w};$$

$$a(2,2) = \frac{-2}{T_w}; a(2,3) = \frac{2K_A}{T_{ga}R}; a(3,2) = \frac{1}{M}; a(3,3) = \frac{-D}{M};$$

$$a(3,4) = \frac{-K_1}{M}; a(3,7) = \frac{-K_2}{M}; a(4,3) = 2\pi f; a(5,4) = \frac{-K_A K_5}{T_A};$$

$$a(5,5) = \frac{-1}{T_A}; a(5,7) = \frac{-K_A K_6}{T_A}; a(5,8) = \frac{-K_A}{T_A}; a(5,11) = \frac{-K_A}{T_A};$$

$$\begin{aligned}
a(6,5) &= \frac{1}{T_E}; a(6,6) = \frac{-K_E}{T_E}; a(7,4) = \frac{K_4}{T'_{d0}}; a(7,6) = \frac{1}{T'_{d0}}; \\
a(7,7) &= \frac{-1}{K_3 T'_{d0}}; a(8,5) = \frac{K_F}{T_E T_F}; a(8,6) = \frac{-K_E K_F}{T_E T_F}; a(8,8) = \frac{-1}{T_F}; \\
a(9,4) &= \frac{K_g}{T_{LG}}; a(9,9) = \frac{-1}{T_{LG}}; a(10,4) = \frac{K_g T_{LD1}}{T_{LG} T_{LG1}}; \\
a(10,9) &= \frac{(T_{LG} - T_{LD1})}{T_{LG} T_{LG1}}; a(10,10) = \frac{-1}{T_{LG1}}; a(11,4) = \frac{K_g T_{LD1}}{T_{LG} T_{LG1}}; \\
a(11,9) &= \frac{(T_{LG} - T_{LD1})}{T_{LG} T_{LG1}}; a(11,10) = \frac{-1}{T_{LG1}}; a(11,11) = \frac{-1}{T_{re}}
\end{aligned}$$

Sedangkan harga-harga komponen matriks B seperti di bawah ini, dan harga komponen yang tidak tercantum sama dengan nol.

$$b(1,1) = \frac{K_{ga}}{T_{ga}}; b(2,1) = \frac{-2K_{ga}}{T_{ga}}; b(5,2) = \frac{K_A}{T_A}$$

Sedangkan persamaan matriks pengukuran diperoleh dengan memperhitungkan persamaan :

$$\Delta P_e = \Delta T_e = K_1 \Delta \delta + K_2 \Delta E'_q$$

$$\Delta V_t = K_5 \Delta \delta + K_6 \Delta E'_q$$

Persamaan matriks pengukuran adalah :

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_3 \\ Y_4 \\ . \\ . \\ . \\ Y_9 \\ Y_{10} \\ Y_{11} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta Y \\ \Delta T_m \\ \Delta \omega \\ \Delta P_e \\ . \\ . \\ . \\ \Delta P_1 \\ \Delta P_2 \\ \Delta P_o \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{1,1} & c_{1,2} & . & . & . & c_{1,10} & c_{1,11} \\ c_{2,1} & c_{2,2} & . & . & . & c_{2,10} & c_{2,11} \\ . & . & \square & \square & \square & . & . \\ . & . & \square & \square & \square & . & . \\ . & . & \square & \square & \square & . & . \\ c_{10,1} & c_{10,2} & . & . & . & c_{10,10} & c_{10,11} \\ c_{11,1} & c_{11,2} & . & . & . & c_{11,10} & c_{11,11} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta Y \\ \Delta T_m \\ \Delta \omega \\ \Delta \delta \\ . \\ . \\ . \\ \Delta P_1 \\ \Delta P_2 \\ \Delta P_o \end{bmatrix}$$

Dengan harga-harga komponen matriks C adalah sebagai berikut (yang tidak tercantum berharga nol) :

$$c(1,1) = c(2,2) = c(3,3) = c(5,5) = c(6,6) = c(8,8) = c(9,9) =$$

$$c(10,10) = c(11,11) = 1$$

$$c(4,4) = K_1 ; c(4,7) = K_2$$

$$c(7,4) = K_5 ; c(7,7) = K_6$$



*Studi Pengendalian Frekuensi Dan Tegangan
Pada PLTA Saguling Menggunakan
Kontrol Adaptif MRAS*

Bab IV

Perancangan Dan Analisis Simulasi

BAB IV

PERANCANGAN DAN ANALISIS SIMULASI

Perancangan dengan menggunakan metode Model Reference Adaptive System meliputi penurunan model matematik sistem dalm kawasan waktu diskrit untuk merancang parameter proses, serta perancangan aksi kendali dan parameter pengendali.

4.1. PERANCANGAN MODEL

Perancangan model dilakukan dengan mengasumsikan model referensi yang diinginkan mempunyai parameter-parameter yang identik dengan parameter model dinamik dari plant yang telah dibahas dalam Bab II. Hal ini dikarenakan sinyal $r(t)$ sebagai masukan untuk model referensi selalu berharga nol setiap saat, hal ini dimaksudkan untuk mencapai perubahan keluaran selalu mendekati nol, sehingga trayektori dapat didefinisikan sebagai :

$$y^*(t+d+1) = \frac{B_m(q^{-1})}{A_m(q^{-1})} r(t)$$

dengan $r(t) = 0$

didapatkan,

$$y^*(t+d+1) = \quad (4-1)$$

Dengan demikian perubahan parameter sistem yang disebabkan oleh adanya gangguan perubahan beban akan selalu menuju nilai dari parameter model referensi yang identik dengan parameter plant pada kondisi steady state, sehingga:

$$\begin{aligned}A_m(q^{-1}) &= A(q^{-1}) \\ B_m(q^{-1}) &= B(q^{-1})\end{aligned}$$

4.2. PERANCANGAN PENGENDALI

Untuk mendapatkan persamaan pengendali yang optimal dilakukan dengan meminimumkan variansi keluaran dari model.

Dengan model proses dan gangguan direpresentasikan dalam bentuk ARMAX persamaan (2-15)

$$A(q^{-1})y(t) = B(q^{-1})u(t) + C(q^{-1})e(t)$$

sehingga,

$$\hat{y}(t) = \frac{B(q^{-1})}{A(q^{-1})} q^{-d} u(t) + \frac{C(q^{-1})}{A(q^{-1})} e(t) \quad (4-2)$$

$$\hat{y}(t+d) = \frac{B(q^{-1})}{A(q^{-1})} u(t) + \frac{C(q^{-1})}{A(q^{-1})} e(t+d) \quad (4-3)$$

maka dapat digunakan persamaan Diophantine yang dinyatakan sebagai berikut,

$$\frac{C(q^{-1})}{A(q^{-1})} = F(q^{-1}) + q^{-d} \frac{G(q^{-1})}{A(q^{-1})} \quad (4-4)$$

dengan,

$$F(q^{-1}) = 1 + f_1 q^{-1} + \dots + f_{d-1} q^{-d+1}$$

$$G(q^{-1}) = g_0 + g_1 q^{-1} + \dots + g_{n-1} q^{-n+1}$$

Dengan mensubstitusikan (4-3) dengan (4-4) maka diperoleh:

$$\hat{y}(t+d) = \frac{B(q^{-1})}{A(q^{-1})} u(t) + F(q^{-1})e(t+d) + \frac{G(q^{-1})}{A(q^{-1})} e(t) \quad (4-5)$$

$$\begin{aligned} F(q^{-1})e(t+d) &= (1 + f_1 q^{-1} + \dots + f_{d-1} q^{-d+1}) e(t+d) \\ &= e(t+d) + f_1 e(t+d+1) + \dots + f_{d-1} e(t+1) \end{aligned} \quad (4-6)$$

Persamaan (4-6) adalah gangguan-gangguan yang tidak diketahui pada saat t .

Dengan demikian dapat dimengerti bahwa prediksi keluaran d langkah kemudian menjadi:

$$\hat{y}(t+d|t) = \frac{B(q^{-1})}{A(q^{-1})} u(t) + \frac{G(q^{-1})}{A(q^{-1})} e(t) \quad (4-7)$$

$e(t)$ dapat diperoleh dari persamaan (4-2) :

$$e(t) = \frac{A(q^{-1})}{C(q^{-1})} y(t) - \frac{B(q^{-1})}{C(q^{-1})} u(t-d) \quad (4-8)$$

$$\hat{y}(t+d|t) = \frac{B(q^{-1})}{A(q^{-1})} u(t) + \frac{G(q^{-1})}{C(q^{-1})} y(t) - \frac{G(q^{-1})B(q^{-1})}{A(q^{-1})C(q^{-1})} u(t-d) \quad (4-9)$$

$$\begin{aligned} \hat{y}(t+d|t) &= \frac{B(q^{-1})}{A(q^{-1})} \left\{ 1 - \frac{q^{-d}G(q^{-1})}{C(q^{-1})} \right\} u(t) + \frac{G(q^{-1})}{C(q^{-1})} y(t) \\ &= \frac{B(q^{-1})F(q^{-1})}{C(q^{-1})} u(t) + \frac{G(q^{-1})}{C(q^{-1})} y(t) \end{aligned} \quad (4-10)$$

Untuk meminimumkan variansi keluaran digunakan pemodelan matematik yang dirumuskan sebagai berikut,

$$J = E \left\{ \left[\hat{y}(t+d+1) - y^*(t+d+1) \right]^2 + \lambda u^2(t) \right\} = \min \quad (4-11)$$

Hukum kendali $u(t)$ diperoleh dari fungsi kriteria:

$$\frac{\partial J(t)}{\partial u(t)} = 2 \left\{ \hat{y}(t+d+1) - y^*(t+d+1) \right\} \frac{\partial \hat{y}(t+d+1)}{\partial u(t)} + 2\lambda u(t) = 0$$

dengan,

$$\frac{B(q^{-1}) F(q^{-1})}{C(q^{-1})} = b_0 u(t) + \dots u(t-1) + \dots \quad (4-12)$$

sehingga,

$$\frac{\partial \hat{y}(t+d+1)}{\partial u(t)} = \frac{\partial \left\{ \frac{B(q^{-1}) F(q^{-1})}{C(q^{-1})} u(t) \right\}}{\partial u(t)} = b_0 \quad (4-13)$$

maka didapatkan,

$$\frac{\partial J(t)}{\partial u(t)} = 2b_0 \{ y^*(t+d+1) - \hat{y}(t+d+1) \} - 2\lambda u(t) \quad (4-14)$$

diperoleh sinyal kontrol $u(t)$,

$$u(t) = \frac{b_0}{\lambda} \{ y^*(t+d+1) - \hat{y}(t+d+1) \} \quad (4-15)$$

Pada proses P dengan masukan $u(t)$ dan keluaran $y(t)$ serta gangguan $e(t)$ dilakukan identifikasi parameter proses akan menghasilkan estimasi parameter $\hat{\theta}$ yang berisi polinomial $A(q^{-1})$, $B(q^{-1})$ dan $C(q^{-1})$. Dari persamaan identitas Bezout (4-3) akan diperoleh harga $F(q^{-1})$ dan $G(q^{-1})$.

Dengan persamaan (4-19) diperoleh prediksi langkah $\hat{y}(t+d+1)$ dan selanjutnya pengendali $u(t)$ diperoleh dari persamaan (4-15).

Sistem lingkaran tertutup diperoleh dengan substitusi persamaan (4-15) ke persamaan (4-1),

$$y(t) = \left[\frac{q^{-d} B(q^{-1})}{B(q^{-1}) + \lambda_0 A(q^{-1})} \right] r(t) + \left[\frac{B(q^{-1}) F(q^{-1}) + \lambda_0 C(q^{-1})}{B(q^{-1}) + \lambda_0 A(q^{-1})} \right] e(t) \quad (4-16)$$

dengan:

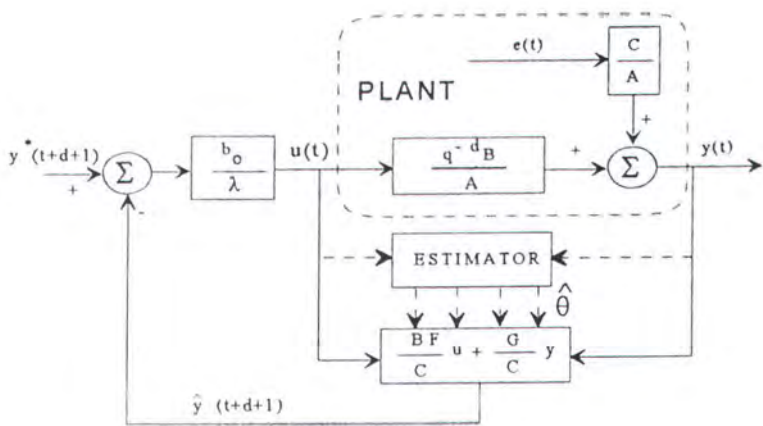
$$\lambda_o = \frac{\lambda}{b_o}$$

Dari persamaan (4-16) terlihat bahwa dinamika dari sistem kendali ditentukan oleh persamaan karakteristik $(B + \lambda_o A)$. Dengan demikian pemilihan faktor pembobot lambda akan mempengaruhi kestabilan dari sistem. Agar tercapai nilai keluaran yang menuju nol pada keadaan tunak untuk perubahan masukan atau gangguan diperlukan aksi kendali integral sehingga faktor pembobot dibuat sebagai berikut :

$$\lambda = \rho (1 - q^{-1}) \tag{4-17}$$

dengan :

ρ : konstanta pembobot.



Gambar 4.1. Strategi Pengendali Adaptif

Untuk sistem dengan $b_o = 0$, hukum kendali (4-15) di atas $u(t) = 0$ setiap saat.

Maka dibuatlah modifikasi sebagai berikut:

$$J = E \left\{ \left[\hat{y}(t+d+1) - y^*(t+d+1) \right]^2 + \lambda u^2(t-1) \right\} \quad (4-19)$$

dengan,

$$\frac{\partial J(t)}{\partial u(t-1)} = 2 \left\{ \hat{y}(t+d+1) - y^*(t+d+1) \right\} \frac{\partial \hat{y}(t+d+1)}{\partial u(t-1)} + 2\lambda u(t-1) = 0$$

sedangkan,

$$\frac{\partial \hat{y}(t+d+1)}{\partial u(t-1)} = \frac{\partial \left\{ \frac{B(q^{-1})F(q^{-1})}{C(q^{-1})} u(t) \right\}}{\partial u(t-1)} = b_1$$

diperoleh,

$$\frac{\partial J(t)}{\partial u(t)} = 2b_1 \left\{ y^*(t+d+1) - \hat{y}(t+d+1) \right\} - 2\lambda u(t-1) = 0 \quad (4-19)$$

sehingga didapatkan,

$$\begin{aligned} u(t) &= \frac{C(q^{-1})}{B(q^{-1})F(q^{-1})} \left\{ y^*(t+d+1) - \left[\frac{\lambda}{b_1} u(t-1) + \frac{G(q^{-1})}{C(q^{-1})} y(t) \right] \right\} \\ &= \frac{C(q^{-1})}{B(q^{-1})F(q^{-1})} y^*(t+d+1) - \frac{C(q^{-1})\lambda}{B(q^{-1})F(q^{-1})b_1} u(t-1) - \frac{G(q^{-1})}{B(q^{-1})F(q^{-1})} y(t) \\ &= \frac{[C(q^{-1})b_1] y^*(t+d+1) - [C(q^{-1})\lambda] u(t-1) - [G(q^{-1})b_1] y(t)}{B(q^{-1})F(q^{-1})b_1} \end{aligned} \quad (4-20)$$

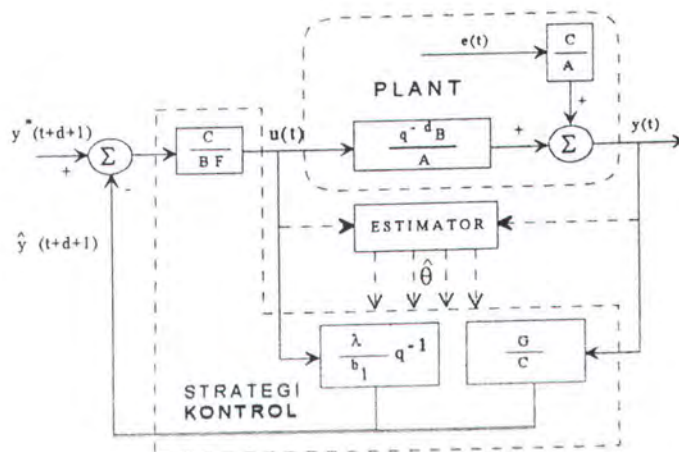
Hukum aksi kendali adaptif adalah:

$$u(t) = \frac{T(q^{-1})y^*(t+d+1) - R(q^{-1})y(t)}{S(q^{-1})} \quad (4-21)$$

maka,

$$\begin{aligned} T(q^{-1}) &= C(q^{-1}) \\ R(q^{-1}) &= G(q^{-1}) \\ S(q^{-1}) &= B(q^{-1})F(q^{-1}) \end{aligned}$$

Dengan $u(t-1) = q^{-1}u(t)$, persamaan (4-20) dapat dibuatkan blok diagram pengendali adaptif (untuk $b_0=0$) seperti gambar 4.1.



Gambar 4.2. Strategi Pengendalian Adaptif (untuk $b_0=0$)

Pengendali $u(t)$ diperoleh dari umpan balik keluaran $y(t)$ dan masukan yang digeser 1 langkah serta acuan keluaran $y^*(t+d+1)$ dengan algoritma (4-20)

Harga-harga $b, B(q^{-1}), C(q^{-1}), F(q^{-1}), G(q^{-1})$ diperoleh dari estimasi parameter dan persamaan identitas.

4.3. ALGORITMA SIMULASI

Kendali adaptif terhadap frekuensi dan tegangan dilakukan dengan metode model referensi, dengan cara menerapkan sesuai teori pengendalian yang telah dibahas sebelumnya.

Simulasi dan analisis sistem pengendalian frekuensi dan tegangan dengan adaptif MRAS pada sistem tenaga listrik mesin tunggal yang terhubung dengan bus infinite pada PLTA Saguling dilakukan dengan urutan :

- ♦ Membuat model proses yang direpresentasikan dalam bentuk blok diagram (bab 3) sehingga diperoleh persamaan keadaan dan keluaran meliputi matrik A, B dan C. Dengan perhitungan aliran daya dan memasukkan data-data parameter plant maka akan diperoleh nilai-nilai parameter K1 sampai K6.

- ♦ Memasukkan model gangguan ke dalam blok diagram sistem hingga diperoleh fungsi alih yang dengan metode transformasi z akan diperoleh persamaan diskrit. Sedangkan penurunan persamaan sistem dengan model gangguan adalah dengan memasukkan gangguan dinamik yang berupa perubahan beban (ΔP_d) seperti gambar (4.3).

Dengan adanya model gangguan perubahan beban ΔP_d maka persamaan keadaan sistem pada pembahasan sebelumnya,

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t)$$

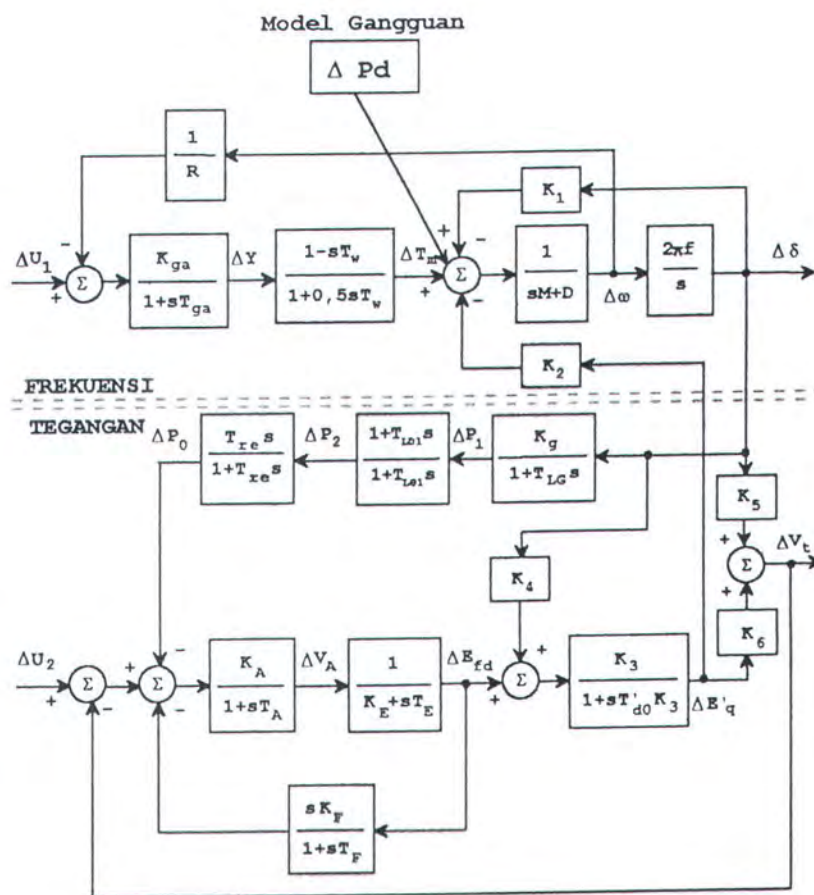
menjadi,

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{A}\mathbf{x}(t) + \mathbf{B}u(t) + \mathbf{G}w(t) \quad (4-22)$$

dengan ,

\mathbf{G} : Matrik gangguan

Matrik model gangguan diperoleh dari dengan memasukkan perubahan beban ΔP_d pada model mesin tunggal keseluruhan (Gambar 4.3),



Gambar 4.3. Model mesin tunggal dengan gangguan ΔP_d

$$\Delta\omega = (\Delta T_m - K1-K2- \Delta P_d) \frac{1}{sM+D}$$

$$\Delta\dot{\omega} = (\Delta T_m - K1-K2- \Delta P_d-\Delta\omega D) /M \quad (4-23)$$

Sehingga persamaan matrik keadaan dengan model gangguan ΔP_d adalah,

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \\ . \\ . \\ . \\ \dot{x}_9 \\ \dot{x}_{10} \\ \dot{x}_{11} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta \dot{Y} \\ \Delta \dot{T}_m \\ \Delta \dot{\omega} \\ \Delta \dot{\delta} \\ . \\ . \\ . \\ \Delta \dot{P}_1 \\ \Delta \dot{P}_2 \\ \Delta \dot{P}_o \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & . & . & . & a_{1,10} & a_{1,11} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & . & . & . & a_{2,10} & a_{2,11} \\ . & . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . & . \\ a_{10,1} & a_{10,2} & . & . & . & a_{10,10} & a_{10,11} \\ a_{11,1} & a_{11,2} & . & . & . & a_{11,10} & a_{11,11} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta Y \\ \Delta T_m \\ \Delta \omega \\ \Delta \delta \\ . \\ . \\ . \\ \Delta P_1 \\ \Delta P_2 \\ \Delta P_o \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} b_{1,1} & b_{1,2} \\ b_{2,1} & b_{2,2} \\ b_{3,1} & b_{3,2} \\ . & . \\ . & . \\ . & . \\ b_{8,1} & b_{8,2} \\ b_{9,1} & b_{9,2} \\ b_{10,1} & b_{10,2} \\ b_{11,1} & b_{11,2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta U_1 \\ \Delta U_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_{1,1} \\ e_{1,2} \\ e_{1,3} \\ . \\ . \\ . \\ e_{1,8} \\ e_{1,9} \\ e_{1,10} \\ e_{1,11} \end{bmatrix} [\Delta P_d] \quad (4-24)$$

Dengan harga $e_{1,4}$ adalah $\frac{1}{M}$ dan untuk nilai matrik e sedangkan yang lain sama dengan nol.

Selanjutnya membuat program simulasi dengan program MATLAB dengan urutan sebagai berikut :

1. Program Inisialisasi.

Adalah program untuk menentukan harga awal parameter estimator yang dimasukkan yang terdiri dari vektor parameter :

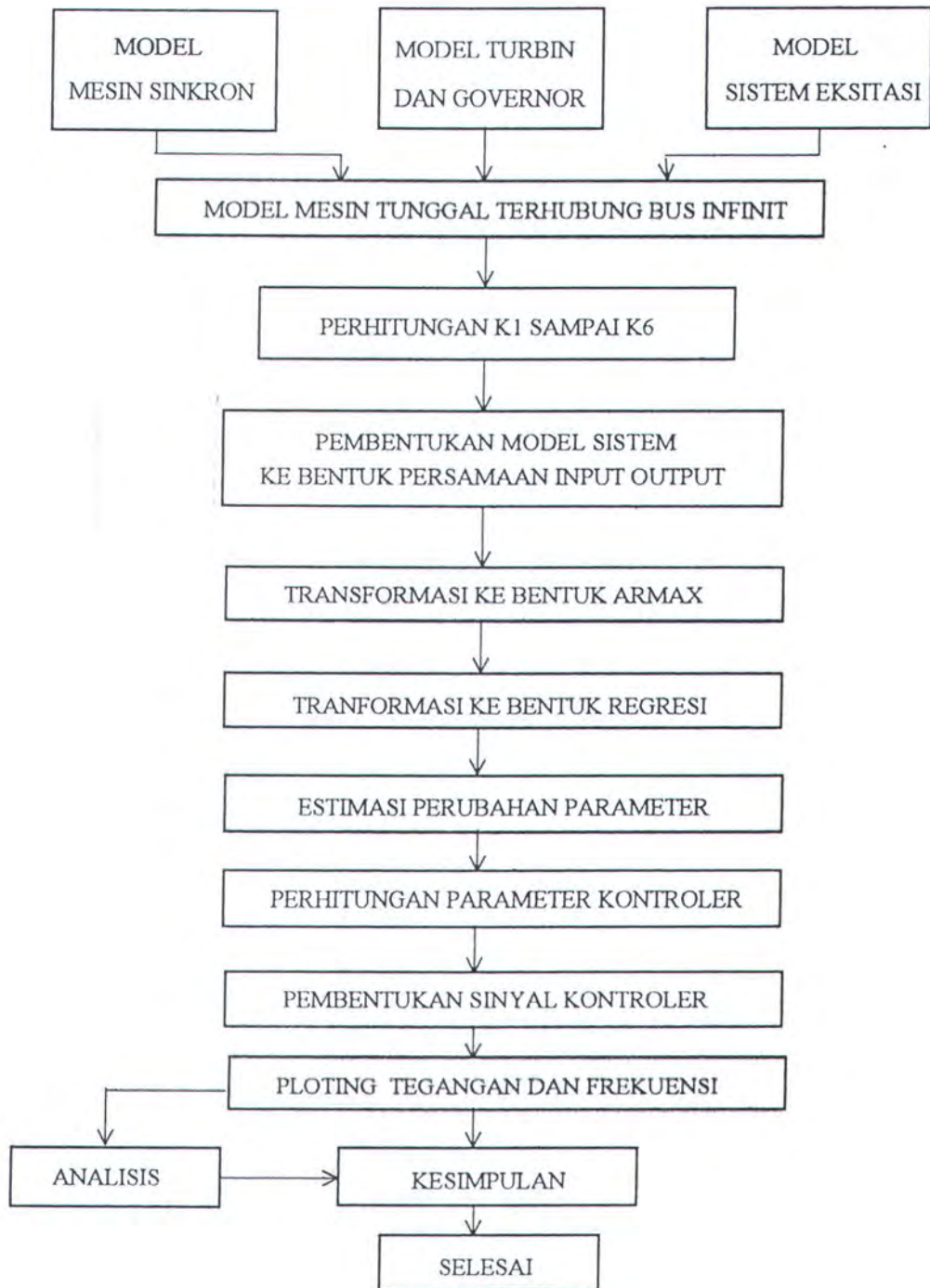
- a. Vektor parameter : θ
- b. Vektor regresi : φ
- c. Penguatan adaptasi : F
- d. Orde polinomial : n_A, n_B, n_C, d
- e. Faktor Pengabai : $\alpha_1(0)$ dan α_0
- f. Bobot Pengendali : ρ (rho)

2. Program sinyal masukan.

Program ini menyediakan sinyal masukan berbentuk sinyal langkah (step) dan sinyal deterministik langkah berubah amplitudo ditambah acak. Kedua sinyal tersebut merupakan simulasi yang mewakili gangguan yaitu perubahan permintaan beban.

3. Program perhitungan sinyal keluaran.

Program ini menghitung sinyal keluaran dalam bentuk persamaan fungsi alih dengan menggunakan vektor regresi estimator.



Gambar 4.4. *Algoritma Penelitian*

4. Program perhitungan parameter kontroler

Program ini adalah untuk menghitung besarnya parameter pengendali R, S dan T yang akan digunakan untuk aksi kontrol dengan menggunakan matrik segitiga bawah.

5. Program estimasi parameter.

Program ini menentukan pendekatan nilai parameter-parameter sistem dengan menggunakan algoritma kuadrat terkecil yang diperluas.

6. Program perhitungan sinyal kendali

Program ini untuk menghitung sinyal kendali (U_1 dan U_2) yang akan digunakan untuk aksi kendali.

7. Program memperbarui variabel.

Program ini melakukan pembaruan variabel akibat perubahan parameter estimator dan sinyal pengendali..

8. Program tampil hasil

Program ini akan menampilkan hasil dari seluruh pemrograman berupa sinyal grafik meliputi :

- a. Sinyal gangguan step dan step berubah beramplitudo.
- b. Sinyal output perubahan frekuensi dengan gangguan step dan step berubah beramplitudo tanpa kendali adaptif.
- c. Sinyal output perubahan tegangan dengan gangguan step dan step berubah beramplitudo dengan kendali adaptif.

Model proses yang akan diestimasi dan dikendalikan dibuat dengan program MATLAB. Dengan data-data parameter mesin dan saluran transmisi adalah sebagai berikut :

Tabel 4.1. Data parameter mesin

PARAMETER MESIN	NILAI
Rating daya (MVA)	206,1
Faktor daya	0.85 lag
Rating tegangan (kV)	16,5
Konstanta inersia (M)	8 detik
Koefisien redaman (D)	2
Kontanta waktu regulator(T_A)	0.02 detik
Kontanta waktu filter(T_F)	0.01 detik
Kontanta waktu peralihan(T'_{do})	12.8 detik
Kontanta waktu governor(T_{ga})	1 detik
Kontanta waktu turbin(T_w)	1 detik
Konstanta pengatur turbin (R)	0.05
Kontanta eksitasi(K_E)	0.1 detik
Gain eksitasi (K_E)	1
Gain filter eksitasi(K_F)	0.01
Gain governor(K_{ga})	1

Sedangkan data-data beban pada pembangkit dan saluran dengan bus infinit yang digunakan yaitu bus Bandung Selatan sebagai berikut :

Tabel 4.2. Data beban dan saluran

DATA-DATA	NILAI
Daya reaktif beban puncak	63.25
Daya nyata beban puncak(MW)	122,5
Tegangan bus Saguling (kV)	502
Impedansi saluran ohm/km/phase)	0,01054+j0.41595
Jarak bus Saguling dan bus Bandung selatan	37.510 km

Dengan data-data tersebut dengan program perhitungan aliran daya akan diperoleh harga-harga parameter K_1 sampai K_6 .

Tabel 4.3. Hasil perhitungan K_1 sampai K_6

K1	K2	K3	K4	K5	K6
2,1230	1,4755	0,1921	1,3095	-0,5626	0,0583

4.4. ANALISIS HASIL SIMULASI

1. Dengan input step ($\Delta Pd = 0.05 pu$)

Dari grafik pada gambar (4.7b) terlihat bahwa tanggapan keluaran sistem untuk frekuensi dengan kontrol adaptif adalah mengalami overshoot pada saat awalnya dan menuju ke nilai steady state sama dengan nol untuk waktu selanjutnya.

Perubahan frekuensi setelah steady state sama dengan nol ($\Delta\omega = 0$) dan kondisi ini dicapai dalam waktu 20 detik. Dengan simpangan maksimumnya adalah 0.000065 pu. Sedangkan tanpa kontrol adaptif juga tidak terjadi perubahan nilai frekuensi pada kondisi steady state tetapi kerapatan frekuensi lebih tinggi dengan waktu yang dicapai adalah 150 detik. Simpangan maksimumnya adalah 0.007 pu.

Tanggapan tegangan (gambar 4.6b) mempunyai nilai yang cukup cepat yaitu 12.5 detik dengan menggunakan kontrol adaptif dan tidak terjadi perubahan tegangan pada kondisi steady state. ($\Delta V_t = 0$). Dengan simpangan maksimum yang dicapai adalah 0.003 pu. Sedangkan untuk sistem tanpa kontrol adaptif (gambar 4.6a), osilasi yang terjadi sangat tinggi dengan waktu mencapai kondisi steady state 150 detik dan terjadi perubahan tegangan menuju nilai kestabilan baru sebesar 0.002 pu. Simpangan maksimum yang terjadi adalah sebesar 0.014 pu.

2. Dengan Input Step beramplitudo ($\Delta P_d = u(t)$)

Dari gambar 4.9 dapat kita lihat bahwa untuk tanggapan frekuensi dengan kontrol adaptif, perubahan frekuensi karena pengaruh perubahan beban diredam, sehingga dapat mencapai harga nol dengan waktu yang relatif cepat dengan overshoot yang tidak terlalu tinggi, sedangkan untuk tanggapan tegangan mempunyai waktu peredaman yang lebih cepat lagi. Simpangan maksimum yang terjadi pada frekuensi adalah 0.0007 pu dan pada tegangan adalah 0.0038 pu.

Tanggapan tanpa menggunakan kontrol adaptif pada frekuensi (gambar 4.9a) tidak pernah mencapai harga perubahan sama dengan nol meskipun responnya teregulasi menuju nol, demikian juga untuk tanggapan tegangan (gambar 4.8a) tidak pernah mencapai harga perubahan tegangan sama dengan nol, tetapi responnya teregulasi menuju nilai kestabilan baru sesuai dengan perubahan beban. Simpangan maksimum yang terjadi pada frekuensi adalah 0.007 pu, sedangkan pada tegangan simpangan maksimumnya adalah 0.014 pu.

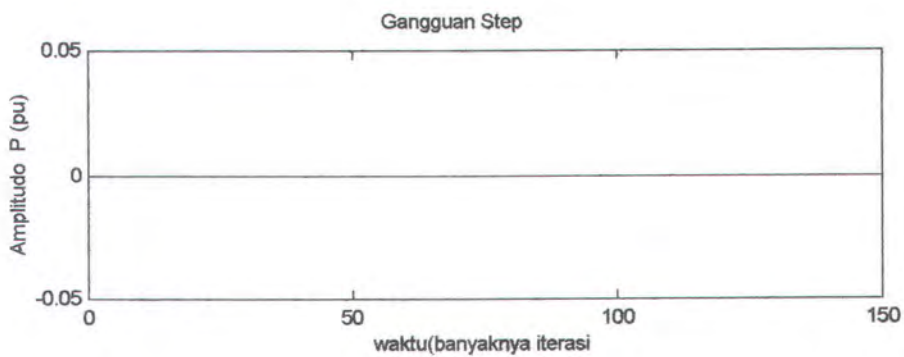
Tabel 4.4. *Tanggapan Keluaran Frekuensi dengan Input Step Beramplitudo*

TANGGAPAN FREKUENSI				
Perubahan Beban ΔP_d (pu)	Dengan Kontrol Adaptif		Tanpa Kontrol Adaptif	
	T. Redaman (detik)	Perubahan Frek.. $\Delta\omega$ (pu)	T. Redaman (detik)	Perubahan Frek. $\Delta\omega$ (pu)
0.02	8	0	> 25	-
0.03	15	0	> 25	-
- 0.04	15	0	> 25	-
- 0.06	20	0	> 25	-
0.02	8	0	> 25	-
0.05	20	0	> 25	-

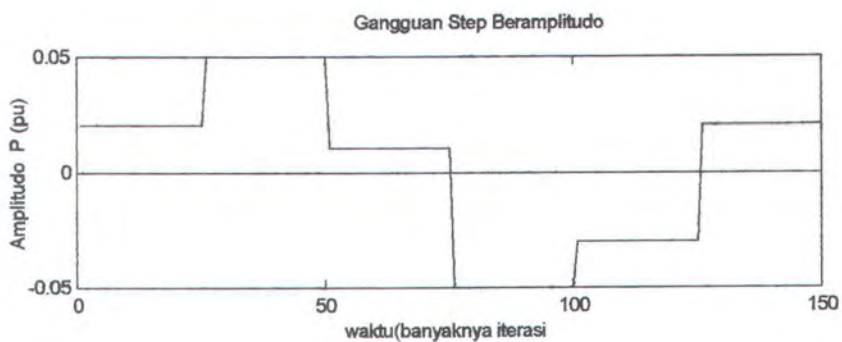
Tabel 4.5. *Tanggapan Keluaran Tegangan dengan Input Step Beramplitudo*

TANGGAPAN TEGANGAN				
Perubahan Beban ΔP_d (pu)	Dengan Kontrol Adaptif		Tanpa Kontrol Adaptif	
	T. Redaman (detik)	Perubahan Teg. ΔV_t (pu)	T. Redaman (detik)	Perubahan Teg. ΔV_t (pu)
0.02	8	0	> 25	- 0.001
0.03	12.5	0	> 25	- 0.001
- 0.04	15	0	> 25	- 0.0005
- 0.06	15	0	> 25	0.002
0.02	8	0	> 25	0.001
0.05	15	0	> 25	- 0.0005





(a)

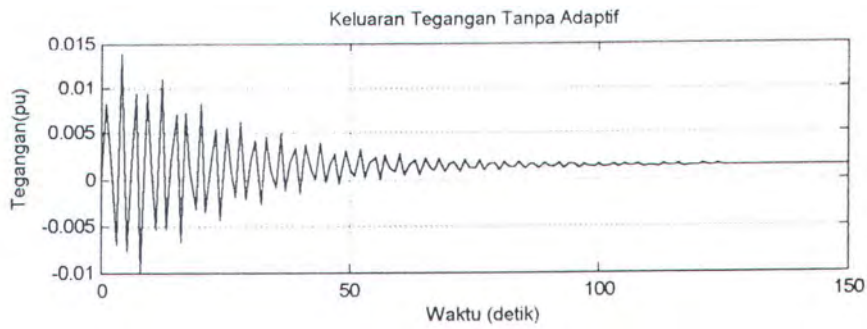


(b)

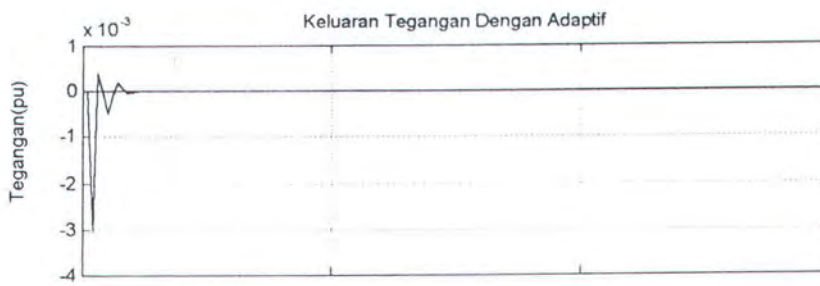
Gambar 4.5. Model Gangguan

(a) Gangguan Step ($\Delta Pd = 0.05 pu$)

(b) Gangguan Step beramplitudo ($\Delta Pd = u(t)$)



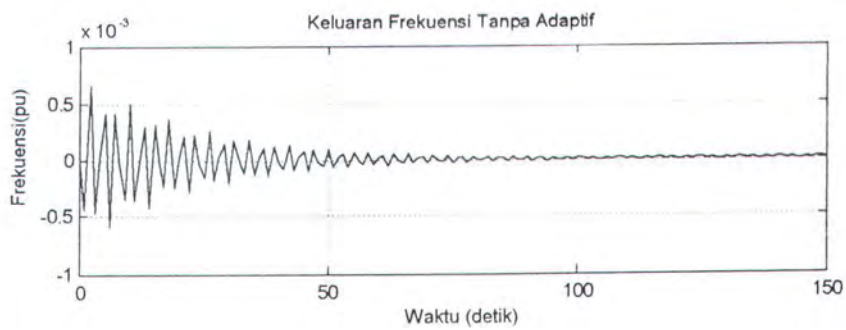
(a)



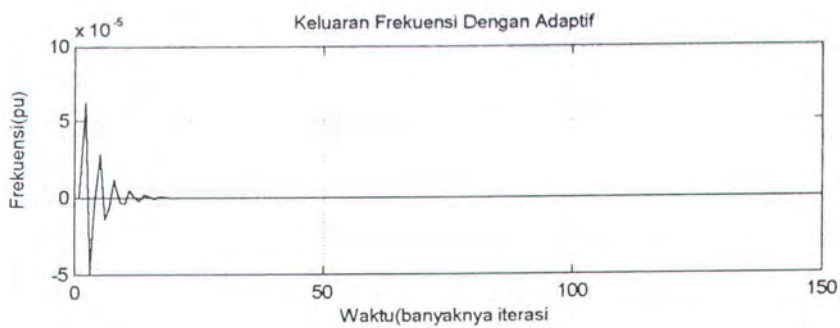
(b)

Gambar 4.6. *Respon output tegangan dengan input step*

- (a). Respon output tegangan tanpa kontrol adaptif
- (b). Respon output tegangan dengan kontrol adaptif



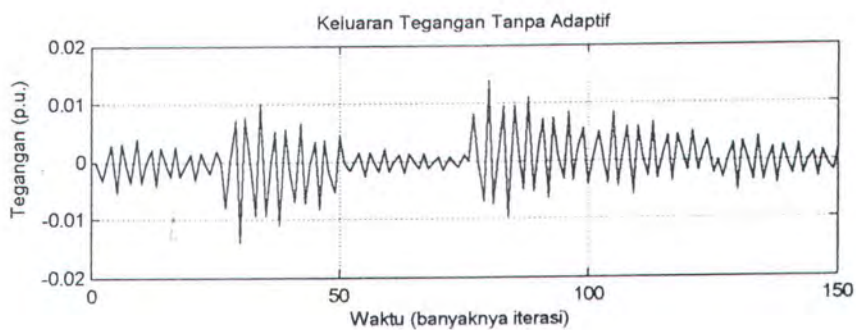
(a)



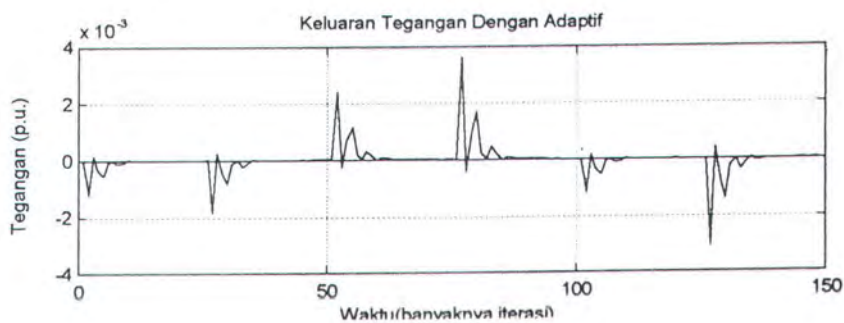
(b)

Gambar 4.7. *Respon output frekuensi dengan input step*

- (a). Respon output frekuensi tanpa kontrol adaptif
- (b). Respon output frekuensi dengan kontrol adaptif



(a)

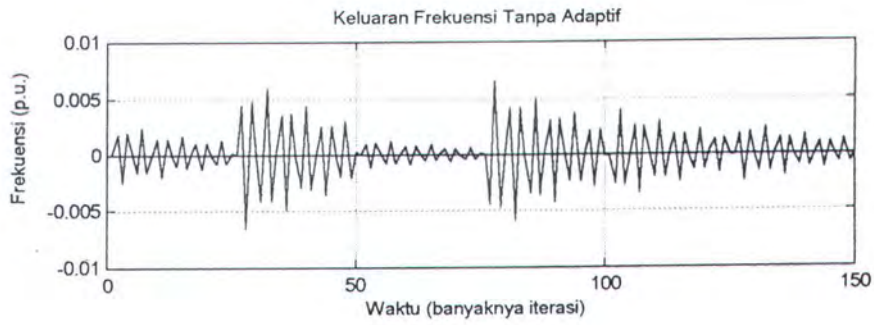


(b)

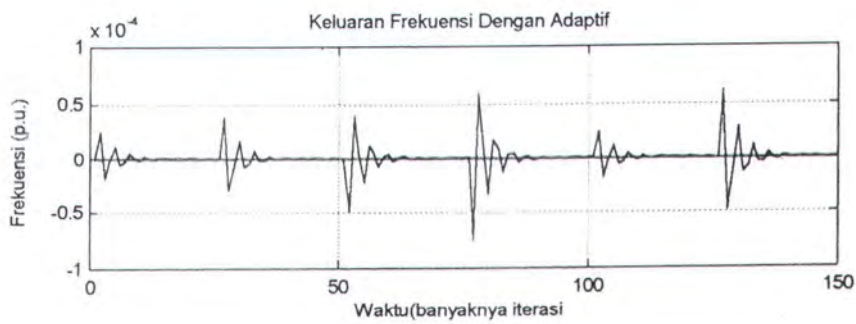
Gambar 4.8. *Respon output tegangan dengan input step beramplitudo*

(a). Respon output tegangan tanpa kontrol adaptif

(b). Respon output tegangan dengan kontrol adaptif



(a)



(b)

Gambar 4.9. *Respon output frekuensi dengan input step beramplitudo*

- (a). Respon output frekuensi tanpa kontrol adaptif
- (b). Respon output frekuensi dengan kontrol adaptif



*Studi Pengendalian Frekuensi Dan Tegangan
Pada PLTA Saguling Menggunakan
Kontrol Adaptif MRAS*

Bab V Penutup

BAB V

PENUTUP

5.1. KESIMPULAN

1. Sistem kontrol adaptif Model Reference Adaptif System bisa diterapkan dalam sistem pengaturan frekuensi dan tegangan pada sistem tenaga listrik mesin tunggal pada PLTA Saguling.
2. Dengan menggunakan kontrol adaptif pada input step dapat memberikan performa sistem yang lebih baik, pada frekuensi amplitudo maksimum menjadi 0.000065 pu dengan waktu 20 detik dari tanpa adaptif 0.007 pu dengan waktu 150 detik.. Sedangkan dengan input step beramplitudo dengan adaptif pada frekuensi waktu redaman lebih cepat dan amplitudo maksimum menjadi 0.0007 pu dengan adaptif dari tanpa adaptif 0.007 pu dan untuk tegangan waktu redaman lebih cepat dengan amplitudo maksimum menjadi 0.0038 pu dengan adaptif dari tanpa adaptif 0.014 pu.

5.2. SARAN

Penelitian ini masih berupa studi dengan simulasi dari pemodelan sistem, simulasi gangguan dan studi pengendalian yang masih jauh dari keadaan sistem

sebenarnya, sehingga untuk implementasi pada kondisi sebenarnya masih membutuhkan bagian-bagian ilmu yang lain seperti pengukuran frekuensi, pengukuran tegangan, daya saluran dan permintaan daya beban yang akurat serta perlengkapan perangkat keras yang memadai.

Realisasi dan penelitian-penelitian lebih lanjut perlu diadakan agar tercapai pemodelan yang lebih nyata sehingga dapat dicapai kestabilan yang lebih baik..

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. A.Arismunandar, S. Kuwahara, **Teknik Tenaga Listrik**. ed I, Pradnya Paramita, 1991.
- [2]. Adi Soeprijanto, **Metode Sederhana Penalaan Power System Stabilizer**, Tesis Magister Teknik, ITB. , Nopember 1994.
- [3]. Chang-Chieh Hang And Patricks C. Parks, **Comparative Studies Of Model Reference Adaptive Control Systems**, IEEE Trans. On Automatic Control, Vol. Ac, No. 5, October 1973.
- [4]. Edi Suwarto, **Studi Pengendalian Adaptif Frekuensi - Beban Untuk Sistem Area Jamak** , Tesis Magister Teknik, ITB.
- [5]. Francisco P. Demello And Charles Concordia., "**Concepts Of Synchronous Machine Stability As Affected By Excitation Control**," IEEE Trans, April 1969, hal. 189 -202.
- [6]. Hans Butler, **Model Reference Adaptive Control-From Theory To Practice**, Prentice-Hall, 1992.
- [7]. IEEE Committee Report, "**Excitation System Models for Power System Stability Studies**," Vol.PAS-100, No. 2, Feb 1981.
- [8]. IEEE Committee Report,**Dynamic Models For Steam and Hydro Turbine in Power System Studies**, IEEE Trans., 1973, Pas-92, pp. 1904-1915
- [9]. Imam Robandi, **Studi Perbaikan Kinerja Dinamik Sistem Tenaga Listrik Multi Mesin Dengan Umpan Balik Optimal**, Tesis Magister Teknik, ITB., Nopember 1994.
- [10]. Isnuwardianto, Dr. Ir., **Dinamika Dan Kendali Sistem Tenaga Listrik**, ITB.
- [11]. Jean-Jacques E. Slotine, Weiping Li, **Applied Nonlinear Control**, Prentice-Hall International, Inc.

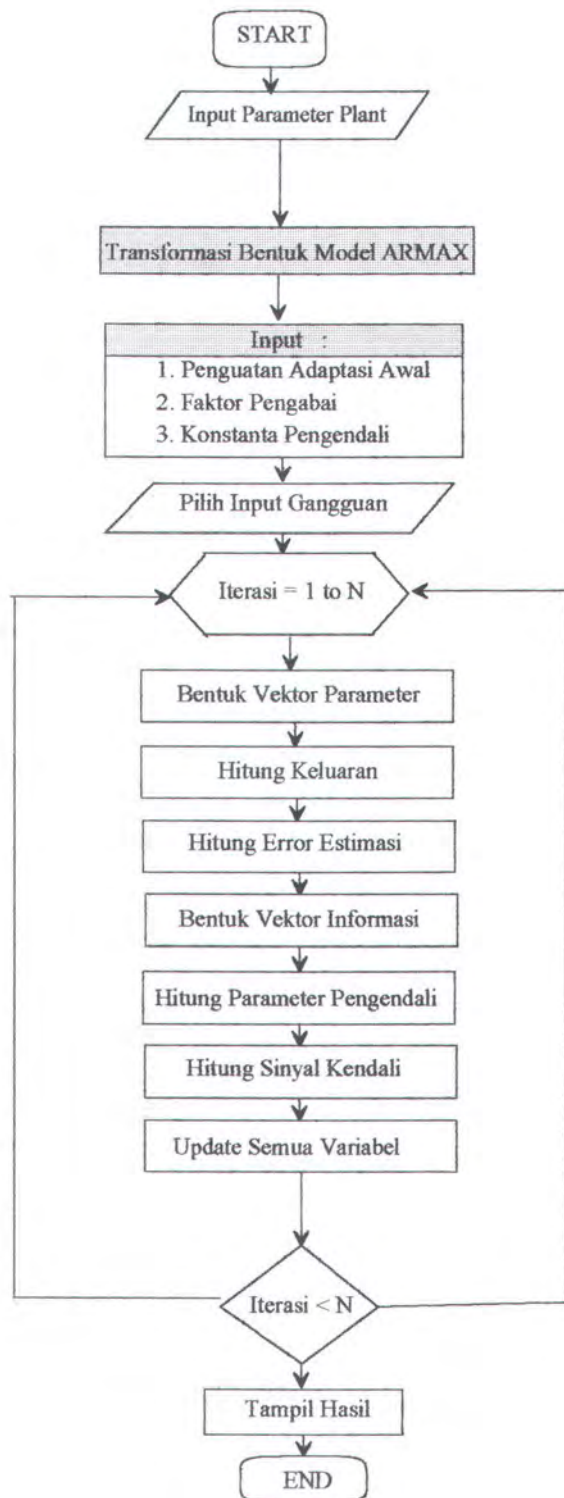
- [12]. Landau I.D., **Adaptive Control-The Model Reference Approach**, Marcel Dekker, Inc, 1979.
- [13]. Landau I.D., **System Identification And Control Design**, Prentice-Hall, 1990.
- [14]. Ogata, K., Alih bahasa : Ir. Edi Leksono, **Teknik Kontrol Automatik (Sistem Pengaturan)**, jilid 1, Erlangga, Jakarta, 1991.
- [15]. Ogata, K., Alih bahasa : Ir. Edi Leksono, **Teknik Kontrol Automatik (Sistem Pengaturan)**, jilid 2, Erlangga, Jakarta, 1991.
- [16]. P.M. Anderson, And A.A. Fouad, **Power System Control And Stability**, The Iowa University Press, 1982.
- [17]. Saadat, Hadi, **Computational Aids In Control System Using Matlab**, Mcgraw-Hill, Inc, 1993.
- [18]. Stevenson, W.D., Alih bahasa : Ir Kemal Idris, **Analisis Sistem Tenaga**, Erlangga, Jakarta, 1984.
- [19]. The New Japan Engineering Consultans Inc, **Saguling Hydroelectric Power Plant Operation and Maintenance Manual for Generating Equipment Vol I**, Osaka, Japan, Juni 1985
- [20]. ----, **Saguling Hydropower Station Operation Daily Record**, PLTA Saguling , 19 Oktober 1995



*Studi Pengendalian Frekuensi Dan Tegangan
Pada PLTA Saguling Menggunakan
Kontrol Adaptif MRAS*

Lampiran

FLOWCHART ADAPTIF MRAS



**PROGRAM PENGENDALIAN FREKUENSI DAN TEGANGAN PLTA SAGULING
MENGUNAKAN MODEL REFERENCE ADAPTIVE SYSTEM**

```
% Perhitungan aliran daya %
i = sqrt(-1);
Sbase=206.1;
Vbase1=500;
Zbase1=Vbase1.^2/Sbase;
Vbase2=16.500;
Zbase2=Vbase2.^2/Sbase;

Pb=490/4;
Qb=253/4;
P=Pb/Sbase;
Q=Qb/Sbase;
S=P+Q*i;
phi=angle(S); %sudut antara I dan V, V sebagai referensi
pf=cos(phi);
V=502.05;
Vt= V/Vbase1;
RL = 37.510*0.01054;
XL = 37.510*0.41595;
R=RL/Zbase1;
X=XL/Zbase1;
Z = R+i*X;

Ia=P/(Vt*cos(phi)); % sudut I terhadap Vt = -(phi)
I=Ia*(cos(-phi)+(i)*sin(-phi));
Ir=Ia*cos(phi);
Ix=-(Ia)*sin(phi);

Xq=0.65;
Xq1=0.151;
Xd=1.09;
Xd1=0.199;

r=0;
delta=atan((Xq*Ir+r*Ix)/(Vt+r*Ir-Xq*Ix)); % sudut antara Vt dengan sumbu Q
Id=-Ia*sin(delta+phi);
Iq=Ia*cos(delta+phi);
Vd=-Vt*sin(delta);
Vq=Vt*cos(delta);
E=Vq+r*Iq-Xd*Id;
Vinf=Vt-Z*I;
V0=abs(Vinf);
alfa=angle(Vinf); %sudut V0 terhadap Vt
gamma=abs(alfa)+abs(delta); %sudut V0 terhadap sumbu Q

Eq1=E+(Xd-Xd1)*Id;
Eq0=Eq1-(Xq-Xd1)*Id;

KL=1/(R.^2+(Xq+X)*(Xd1+X));

K11=Eq0*(R*sin(gamma)+(Xd1+X)*cos(gamma));
K12=Iq*(Xq-Xd1)*((Xq+X)*sin(gamma)-R*cos(gamma));
```

```

K1=KL*V0*(K11+K12);

K2=KL*(R*Eq0+Iq*(R.^2+(Xq+X).^2));

K3=1/(1+KL*(Xd-Xd1)*(Xq+X));

K4=V0*KL*(Xd-Xd1)*((Xq+X)*sin(gamma)-R*cos(gamma));

K51=(KL*V0*Xd1*Vq/Vt)*(R*cos(gamma)-(Xq+X)*sin(gamma));
K52=(KL*V0*Xq*Vd/Vt)*((Xd1+X)*cos(gamma)+R*sin(gamma));
K5=K51+K52;

K6=(Vq/Vt)*(1-KL*Xd1*(Xq+X))-(Vd/Vt)*KL*Xq*R;

% data PSS

Kg=0.5;
Tlg=0.28;
Tld1=0.2;
Tlg1=0.105;
Tre=1;

% data sistem eksitasi

Ke=1.0;
Te=0.1;

Ka=100;
Ta=0.02;

Kf=0.01;
Tf=0.01;

% data turbin

Kga=1;
Tga=1;
Tw=1;
R=0.05;

% data generator

f=50;
w0=2*pi*f;
M=8;
D=1.86;
Tdo=12.8;

disp(' MATRIKS STATE INPUT OUTPUT ')
T=.35;
AU=[-1/Tga 0 -Kga/(Tga*R) 0 0 0 0 0 0 0
     2*(Tga+Tw)/(Tga*Tw) -2/Tw (2*Kga)/(Tga*R) 0 0 0 0 0 0 0
     0 1/M -D/M -K1/M 0 0 -K2/M 0 0 0 0

```



```

0 0 w0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 -Ka*K5/Ta -1/Ta 0 -Ka*K6/Ta -Ka/Ta 0 0 Ka/Ta
0 0 0 0 1/Te -Ke/Te 0 0 0 0
0 0 0 -K4/Tdo 0 1/Tdo -1/(K3*Tdo) 0 0 0 0
0 0 0 0 Kf/(Te*Tf) -(Ke*Kf)/(Te*Tf) 0 -1/Tf 0 0 0
0 0 Kg*w0 0 0 0 0 0 -1/Tre 0 0
0 0 Kg*w0*Tld1/Tlg1 0 0 0 0 0 (1/Tlg1)-(Tld1/(Tre*Tlg1)) -1/Tlg1 0
0 0 0 0 0 0 0 0 1/Tlg -1/Tlg];

```

```

BU=[Kga/Tga 0
    -2*Kga/Tga 0
    0 0
    0 0
    0 Ka/Ta
    0 0
    0 0
    0 0
    0 0
    0 0
    0 0];

```

```

CU=[1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
    0 1 0 0 0 0 0 0 0 0
    0 0 1 0 0 0 0 0 0 0
    0 0 0 K1 0 0 K2 0 0 0 0
    0 0 0 0 1 0 0 0 0 0
    0 0 0 0 0 1 0 0 0 0
    0 0 0 K5 0 0 K6 0 0 0 0
    0 0 0 0 0 0 0 1 0 0
    0 0 0 0 0 0 0 0 1 0
    0 0 0 0 0 0 0 0 0 1];

```

```

CU1=CU(3,:); % frekuensi
CU2=CU(7,:); % tegangan
BG=[0;0;1/M;0;0;0;0;0;0;0]; % matriks B gangguan
Vg=0.05
B=zeros(11,2);

```

```

DU=zeros(1,2);

```

```

disp ('=PEMBENTUKAN ARMAX DARI PERS. STATE SPACE YANG ADA=====')

```

```

[phi,gamma]=c2d(AU,BU,T);
disp('dalam bentuk armax')
disp('');

```

```

%==FUNGSI ALIH RESPON TEGANGAN==

```

```

[num1,den]=ss2tf(AU,BU,CU2,DU,1);
[num2,den]=ss2tf(AU,BU,CU2,DU,2);

```

```

%==FUNGSI ALIH RESPON FREKUENSI==

[num1,den]=ss2tf(AU,BU,CU1,DU,1);
[num2,den]=ss2tf(AU,BU,CU1,DU,2);

[numd1,dend]=c2dm(num2,den,T);
[numd2,dend]=c2dm(num1,den,T);

printsys(numd1,dend,'z');
printsys(numd2,dend,'z');

disp('=====PEMBENTUKAN SINYAL GANGGUAN=====')
disp("");

niter=150;
m=150; %('banyak iterasi?(harus kelipatan 6;default=300  ');

    if m<niter,nit=m;
        else nit=niter;
    end

t1=(1:nit/6)';
t2=(nit/6+1:nit/3)';
t3=(nit/3+1:nit/2)';
t4=(nit/2+1:nit/3*2)';
t5=(nit/3*2+1:nit/6*5)';
t6=(nit/6*5+1:nit)';
t=[t1' t2' t3' t4' t5' t6'];

ee0=zeros(nit,1);
ee10=ones(nit,1);
rand(size(t));    %('normal')

%==SINYAL GANGGUAN 1 UNIT STEP==
ee2=.05*ee10;
ee20=2*ee2;

% ==GANGGUAN STEP BERAMPLITUDO==
ee1=.05*rand(size(t));
ee2=.05*ee10;
ee20=2.5*ee2;
ee4=2*ee2(t1)
ee5=5*ee2(t2)
ee6=1*ee2(t3)
ee7=-5*ee2(t4)
ee8=-3*ee2(t5)
ee9=2*ee2(t6)
ee3=.2*[ee4' ee5' ee6' ee7' ee8' ee9'];

D=zeros(11,1);
%Gangguan tanpa adaptif

```

```

Disturb=[0 0 .2*(1/M) 0 0 0 0 0 0 0;
         0 0 .5*(1/M) 0 0 0 0 0 0 0;
         0 0 .1*(1/M) 0 0 0 0 0 0 0;
         0 0 -.5*(1/M) 0 0 0 0 0 0 0;
         0 0 -.3*(1/M) 0 0 0 0 0 0 0;
         0 0 .2*(1/M) 0 0 0 0 0 0 0];
Dist=Disturb';

[y1,x1]=step(AU,Dist(:,1),CU,D,1,t1);
[y2,x2]=step(AU,Dist(:,2),CU,D,1,t2);
[y3,x3]=step(AU,Dist(:,3),CU,D,1,t3);
[y4,x4]=step(AU,Dist(:,4),CU,D,1,t4);
[y5,x5]=step(AU,Dist(:,5),CU,D,1,t5);
[y6,x6]=step(AU,Dist(:,6),CU,D,1,t6);

ystepf=y(:,3);
Yout1f=y1(:,3);Yout2f=y2(:,3);
Yout3f=y3(:,3);Yout4f=y4(:,3);
Yout5f=y5(:,3);Yout6f=y6(:,3);
Ynonf=[Yout1f Yout2f Yout3f Yout4f Yout5f Yout6f];

ystept=y(:,7);
Yout1t=y1(:,7);Yout2t=y2(:,7);
Yout3t=y3(:,7);Yout4t=y4(:,7);
Yout5t=y5(:,7);Yout6t=y6(:,7);
Ynont=[Yout1t Yout2t Yout3t Yout4t Yout5t Yout6t];

figure(1)
subplot(211),plot(t,ee1,t,ee0),title('sinyal gangguan 1'),%gangguan random
xlabel('waktu(banyaknya iterasi)'),ylabel(' Amplitudo P (pu) ')
subplot(212),plot(t,ee2,t,ee0),title('sinyal gangguan 2'),%gangguan unit step
xlabel('waktu(banyaknya iterasi)'),ylabel(' Amplitudo P (pu) ')

figure(2)
subplot(211),plot(t,ee3,t,ee0),title('sinyal gangguan 3'),%gangguan unit step
beramplitudo
xlabel('waktu(banyaknya iterasi)'),ylabel(' Amplitudo P (pu) ')

disp('====PROSES ESTIMASI PARAMETER====')
%P0=input('penguatan adaptasi awal, P(0)= ');
%alpha=input('Faktor pengabai, alpha=[alpha0 alpha1(0)] ');

P0=10;
alpha=[.99 .999]; %alpha adalah matriks pembobot dg dimensi 1x2
alpha10=alpha(2); %alpha10 berisi kolom ke 2 dari matriks alpha
P=P/det(alpha10);
alpha1(1)=1-alpha(1)+alpha(1)*alpha10;

aest=[1 numd2(2:12)];
best=[0 numd1(2:12)];
cest=[1 dend(2:12)];
th=[aest(1,2:12) best(1,2:12) cest(1,2:12)];

mm=2; %('S.gangguan,(1=random,2=step,3=step beramplitudo) ')

```



```

rho=.1;
%mm=2
if mm==1,err=ee1;
    elseif mm==2,err=ee2;
    else err=ee3;
end

```

menyitir *synd* *kerfuh*

```

[F,G]=deconv(cest,aest);
F =[1];
BF=conv(best,F);
L=rho/best(1,2);
CL=conv(cest,L);
CLBF=CL+[BF(1,2:12) 0];

```

```

P=P0*eye(33);
Pest(1)=P(1,1);
psi=(zeros(33,1));
yy=ee0;
uu=ee0;
uu1=ee0;
R=ee0;
ee=ee0;
u=ee0;
yo3=ee0;
yo1=filter(numd2,dend,err);
yo2=filter(numd1,dend,uu);
y=yo1+yo2+yo3;
yy(1)=y(1);
u1=filter(G,CLBF(1,:),-yy);
uu1(1)=u1(1);
R1=filter(cest,CLBF,R);
u2=R1+u1;
u=filter([1],[1 -1],u2);
psi(1)=-yy(1);
psi(13)=yy(1);
er=yy(1);
uu(1)=u(1);
ee(1)=er(1);
st=1:nit;

```

```

for i=2:nit;
    fq=psi'*P*psi;
    er0(i)=yy(i-1)-th'*psi;
    fqe=P*psi*er0(i);
    Pen=alpha1(i-1)+fq;
    Pent=1+fq;
    fqq=P*psi*psi'*P;
    fk=fqq/det(Pen);
    dk=P-fk;
    P=dk/det(alpha1(i-1));
    Pest(i)=P(1,1);
    if Pest(i)<=0 break;
    end
    fktt=fqe/det(Pent);

```

```

th=th+fkt;
aest=[1 th(1:11,1)];
best=[0 th(12:22,1)];
cest=[1 th(23:33,1)];

```

```

ae1(i)=th(1,1);ae2(i)=th(2,1);ae3(i)=th(3,1);ae4(i)=th(4,1);ae5(i)=th(5,1);ae6(i)=th(6,1);ae
7(i)=th(7,1);ae8(i)=th(8,1);ae9(i)=th(9,1);ae10(i)=th(10,1);ae11(i)=th(11,1);

```

```

be1(i)=th(12,1);be2(i)=th(13,1);be3(i)=th(14,1);be4(i)=th(15,1);be5(i)=th(16,1);be6(i)=th(1
7,1);be7(i)=th(18,1);be8(i)=th(19,1);be9(i)=th(20,1);be10(i)=th(21,1);be11(i)=th(22,1);

```

```

ce1(i)=th(23,1);ce2(i)=th(24,1);ce3(i)=th(25,1);ce4(i)=th(26,1);ce5(i)=th(27,1);ce6(i)=th(2
8,1);ce7(i)=th(29,1);ce8(i)=th(30,1);ce9(i)=th(31,1);ce10(i)=th(32,1);ce11(i)=th(33,1);

```

```

[F,G]=deconv(cest,aest);
BF=conv(best,F);
L=rho/best(1,2);
CL=conv(cest,L);
CLBF=CL+[BF(1,2:12) 0];
yo2=filter(numd1,dend,uu);
y=yo1+yo2+yo3;
yy(i)=y(i);
u1=filter(G,CLBF(1,:),-yy);
uu1(i)=u1(i);
R1=filter(cest,CLBF,R);
u2=R1+u1;
u=filter([1],[1 -1],u2);
er(i)=yy(i)-th*psi;
uu(i)=u(i);
ee(i)=er(i);
psi(1)=-yy(i);
psi(2)=-yy(i-1);
psi(12)=uu(i-1);
psi(23)=ee(i);
psi(24)=ee(i-1);

```

```

if i<3 psi(3)=0;psi(13)=0;psi(25)=0;
else psi(3)=-yy(i-2);
psi(13)=uu(i-2);
psi(25)=ee(i-2);
end

```

```

if i<4 psi(4)=0;
psi(14)=0;
psi(26)=0;
else psi(4)=-yy(i-3);
psi(14)=uu(i-3);
psi(26)=ee(i-3);
end

```

```

if i<5 psi(5)=0;
psi(15)=0;
psi(27)=0;
else psi(5)=-yy(i-4);
psi(15)=uu(i-4);

```

```

psi(27)=ee(i-4);
end

    if i<6 psi(6)=0;psi(16)=0;psi(28)=0;
    else psi(6)=-yy(i-2);
        psi(16)=uu(i-2);
        psi(28)=ee(i-2);
    end

    if i<7 psi(7)=0;
        psi(17)=0;
        psi(29)=0;
        else psi(7)=-yy(i-3);
            psi(17)=uu(i-3);
            psi(29)=ee(i-3);
        end

    if i<8 psi(8)=0;
        psi(18)=0;
        psi(30)=0;
        else psi(8)=-yy(i-4);
            psi(18)=uu(i-4);
            psi(30)=ee(i-4);
        end

        if i<9 psi(9)=0;psi(19)=0;psi(31)=0;
        else psi(9)=-yy(i-2);
            psi(19)=uu(i-2);
            psi(31)=ee(i-2);
        end

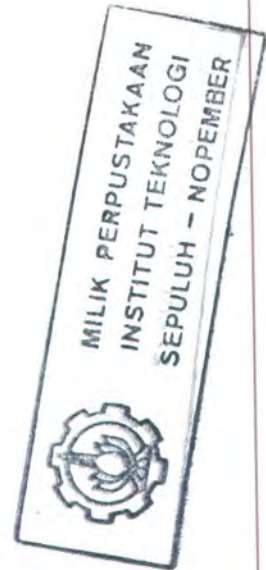
        if i<10 psi(10)=0;
            psi(20)=0;
            psi(32)=0;
            else psi(10)=-yy(i-3);
                psi(20)=uu(i-3);
                psi(32)=ee(i-3);
            end

        if i<11 psi(11)=0;
            psi(21)=0;
            psi(33)=0;
            else psi(11)=-yy(i-4);
                psi(21)=uu(i-4);
                psi(33)=ee(i-4);
            end

        if i<12 psi(22)=0;
            else psi(22)=uu(i-5);
        end

        alpha1(i)=1-alpha(1)+alpha(1)*alpha1(i-1);
end

```




```

% ==PLOTING GRAFIK KELUARAN===
figure(3)
plot(t,err,t,ee0),title('gangguan yang terjadi');
xlabel('waktu(banyaknya iterasi)',ylabel('delta P(pu)')

figure(4)
subplot(211),plot(alpha1),title('faktor pengabai,alpha')
xlabel('')
subplot(212),plot(Pest),title('Penguatan Adaptasi,F')
xlabel('')

figure(5)
subplot(211),plot(st,ee0(st),st,uu(st)),title('Sinyal Kendali,U')
ylabel('delta P(pu)'),xlabel('waktu(banyaknya iterasi)')

BGG=BG*Vg ;
DU=zeros(11,2);
D=zeros(11,1);
t=0:1:150;
[y,x]=step(AU,BGG,CU,D,1,t);

figure(6)
subplot(211),plot(t,y(:,7))
title('Keluaran Tegangan Tanpa Adaptif')
xlabel(' Waktu (detik)')
ylabel(' Tegangan(pu)')
grid
subplot(212),plot(st,ee0(st),st,yy(st)),title('Keluaran Tegangan Dengan Adaptif')
ylabel('delta P(pu)'),xlabel('waktu(banyaknya iterasi)')
grid

figure(7)
subplot(211),plot(t,y(:,3))
title('Keluaran frekuensi Tanpa Adaptif')
xlabel(' Waktu (detik)')
ylabel(' frekuensi(pu)')
grid
subplot(212),plot(st,ee0(st),st,yy(st)),title('Keluaran frekuensi Dengan Adaptif')
ylabel('delta P(pu)'),xlabel('waktu(banyaknya iterasi)')
grid

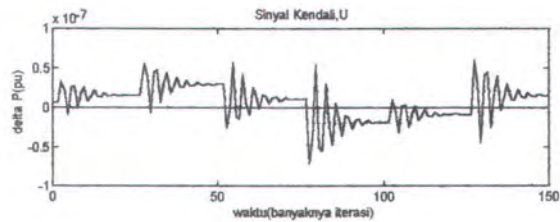
figure(8)
subplot(211),plot(t,Ynont,t,ee0)
title('Keluaran Tegangan Tanpa Adaptif') ,xlabel(' Waktu (detik)')
ylabel(' Tegangan(pu)')
grid
subplot(212),plot(st,ee0(st),st,yy(st)),title('Keluaran Tegangan Dengan Adaptif')
ylabel('delta P(pu)'),xlabel('waktu(banyaknya iterasi)')
grid

figure(9)
subplot(211),plot(t,Ynonf,t,ee0)
title('Keluaran frekuensi Tanpa Adaptif')
xlabel(' Waktu (detik)')
ylabel(' frekuensi(pu)')

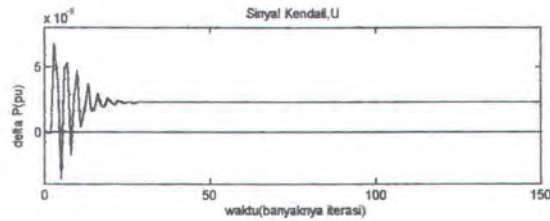
```

```
grid
subplot(212),plot(st,ee0(st),st,yy(st)),title('Keluaran frekuensi Dengan Adaptif')
ylabel('delta P(pu)'),xlabel('waktu(banyaknya iterasi)')
grid
```

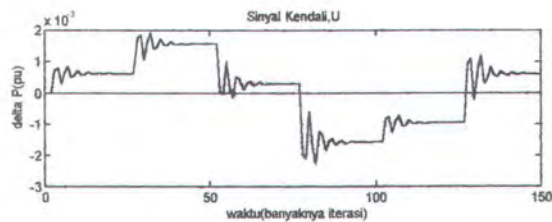
PLOTING SINYAL KENDALI



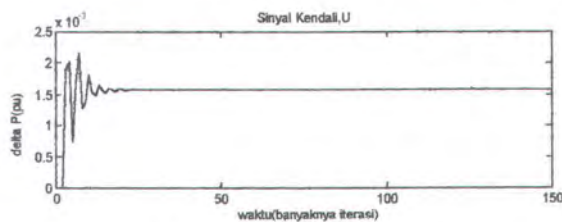
(a) sinyal kendali frekuensi step beramplitudo



(b) sinyal kendali frekuensi step

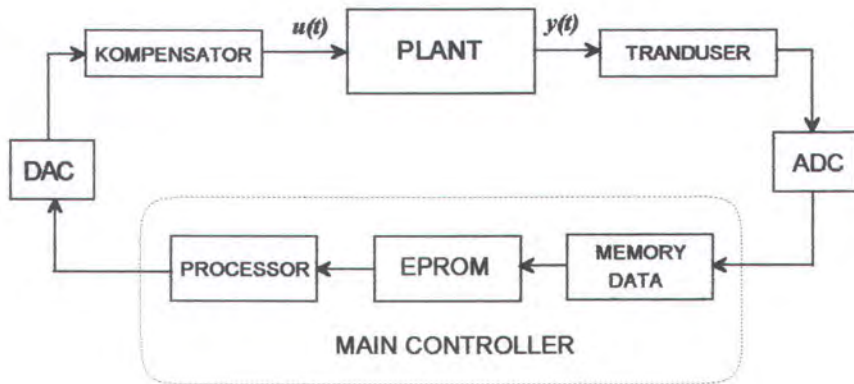


(c) sinyal kendali tegangan step amplitudo



(d) sinyal kendali tegangan step

BLOK DIAGRAM PERALATAN PENGENDALI FREKUENSI DAN TEGANGAN



dengan,

- ☒ Tranduser : Untuk tegangan berupa potential transformer (PT) untuk frekuensi adalah frekuensi counter
- ☒ Kompensator : Untuk tegangan berupa potential transformer (PT) dan pada frekuensi adalah rele daya
- ☒ ADC : Analog to Digital Converter yaitu perangkat pengubah sinyal analog ke sinyal digital.
- ☒ DAC : Digital to Analog Converter yaitu perangkat pengubah sinyal digital ke sinyal analog.
- ☒ Memori Data : adalah tempat untuk menyimpan data yang diperoleh dari keluaran plant.
- ☒ EPROM : Erasable Programable Read Only Memory merupakan alat yang berisi program untuk menghitung parameter kontroler, Estimasi parameter, dan Sinyal kontrol.
- ☒ Processor : Merupakan pengolah program-program yang ada pada EPROM dengan menggunakan data-data dari Memory Data